

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第5019741号  
(P5019741)

(45) 発行日 平成24年9月5日 (2012.9.5)

(24) 登録日 平成24年6月22日 (2012.6.22)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/3065 (2006.01)

HO 1 L 21/027 (2006.01)

HO 1 L 21/768 (2006.01)

HO 1 L 21/304 (2006.01)

HO 1 L 21/302 1 O 1 G

HO 1 L 21/30 5 7 2 B

HO 1 L 21/30 5 7 2 A

HO 1 L 21/90 A

HO 1 L 21/304 6 4 7 Z

請求項の数 30 (全 38 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2005-346854 (P2005-346854)	(73) 特許権者	000219967
(22) 出願日	平成17年11月30日 (2005.11.30)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公開番号	特開2007-157768 (P2007-157768A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公開日	平成19年6月21日 (2007.6.21)	(74) 代理人	100099944
審査請求日	平成20年11月5日 (2008.11.5)		弁理士 高山 宏志
		(72) 発明者	浅子 竜一
			東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
		(72) 発明者	前川 薫
			東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
		(72) 発明者	藤井 康
			東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法および基板処理システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体基板に形成された被エッチング膜の表面に所定の回路パターンを有するエッチングマスクを形成する工程と、

前記エッチングマスクを介して前記被エッチング膜をエッチングし、前記被エッチング膜に溝または孔を形成する工程と、

オゾンを含むガスによる処理を少なくとも含んで前記エッチングマスクを除去する工程と、

前記除去工程までの工程により前記被エッチング膜に入ったダメージを回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理を行うことにより回復させる工程と

を有し、

前記ダメージを回復させる工程は、前記シリル化ガスを供給する前および／または供給開始後に、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように前記半導体基板を加熱して前記水分量を調整することを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 2】

前記エッチングマスクを除去する工程は、前記処理ガスとしてオゾンと水蒸気を用いて前記エッチングマスクを変性させた後、純水または薬液により処理することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3】

前記エッチングマスクを除去する工程は、前記処理ガスとしてオゾンを用いて前記エッチングマスクを変性させた後、純水または薬液により処理することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 4】

前記エッチングマスクを除去する工程の後、前記ダメージを回復させる工程に先立って前記半導体基板を洗浄する工程をさらに有することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 5】

半導体基板に形成された被エッチング膜の表面に所定の回路パターンを有するエッチングマスクを形成する工程と、

前記エッチングマスクを介して前記被エッチング膜をエッチングし、前記被エッチング膜に溝または孔を形成する工程と、

前記エッチングマスクを除去する工程と、

前記除去工程までの工程により前記被エッチング膜に入ったダメージを回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理を行うことにより回復させる工程とを有し、

前記ダメージを回復させる工程は、前記シリル化ガスを供給する前および / または供給開始後に、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように前記半導体基板を加熱して前記水分量を調整することを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 6】

前記シリル化ガスを供給する前の加熱および / または供給開始後の加熱は、50 ~ 200 で行われることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 7】

前記シリル化ガスを供給する前の加熱および供給開始後の加熱の両方を行い、前記シリル化ガスを供給する前の加熱を第 1 の温度で行い、前記供給開始後の加熱は、第 1 の温度よりも高い第 2 の温度で行うことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 8】

半導体基板に形成された被エッチング膜の表面に所定の回路パターンを有するエッチングマスクを形成する工程と、

前記エッチングマスクを介して前記被エッチング膜をドライエッチングによりエッチングし、前記被エッチング膜に溝または孔を形成する工程と、

前記エッチングに引き続きドライ処理によりエッチングマスクを除去する工程と、

前記エッチングマスクを除去する工程後に半導体基板が存在する環境に水分を導入して半導体基板に水分を供給する工程と、

水分が吸着された半導体基板を加熱する工程と、

前記加熱工程後に、前記除去工程までの工程により前記被エッチング膜に入ったダメージを回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理を行うことにより回復させる工程とを有し、

前記加熱工程は、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように前記半導体基板を加熱して前記水分量を調整することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 9】

前記ドライエッチングによりエッチングし、前記被エッチング膜に溝または孔を形成する工程と、前記エッチングマスクを除去する工程と、前記ダメージ回復工程とは、一つのユニット内で行われることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 10】

前記エッチングマスクを除去する工程は、酸素プラズマを用いたドライアッシング処理によって行うことを特徴とする請求項 8 または請求項 9 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 1】

前記エッチングマスクを除去する工程は、酸素ラジカルを用いたドライ処理によって行うことを特徴とする請求項 8 または請求項 9 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 2】

前記ダメージを回復させる工程は、前記シリル化ガスの供給開始後に基板を加熱することを含むことを特徴とする請求項 8 から請求項 1 1 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 3】

前記水分が吸着された半導体基板を加熱する工程を第 1 の温度で行い、前記シリル化ガスの供給開始後の加熱を第 1 の温度よりも高い第 2 の温度で行うことを特徴とする請求項 1 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 4】

前記水分が吸着された半導体基板を加熱する工程の加熱の温度は 50 ~ 200 であることを特徴とする請求項 8 から請求項 1 3 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 5】

前記半導体基板に水分を供給する工程は、半導体基板が存在する環境に大気を導入することにより行われることを特徴とする請求項 8 から請求項 1 4 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 6】

前記シリル化処理は、シリル化ガスとして、分子内にシラザン結合 (Si - N) を有する化合物を用いて行なうことを特徴とする請求項 1 から請求項 1 5 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 7】

前記分子内にシラザン結合を有する化合物が、TMDS (1,1,3,3-Tetramethyldisilazane)、TMSDMA (Dimethylaminotrimethylsilane)、DMSDMA (Dimethylsilyl dimethylamine)、TMSPyrole (1-Trimethylsilylpyrrole)、BSTFA (N,O-Bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide)、BDMADMS (Bis(dimethylamino)dimethylsilane) であることを特徴とする請求項 1 6 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 1 8】

所定パターンが形成されたエッチングマスクを介して半導体基板上の被エッチング層をエッチング装置によりエッチングして被エッチング膜に溝または孔を形成した後、半導体基板を処理する基板処理システムであって、

オゾンを含む処理ガスにより前記エッチングマスクを変性させる変性装置と、

変性したエッチングマスクを純水または薬液により除去する洗浄装置と、

回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理することにより前記被エッチング膜に入ったダメージを回復させ、かつ半導体基板を加熱する機能を有する回復処理装置と

、

これら装置を制御する制御部とを具備し、

前記制御部は、前記変性装置によりエッチングマスクの変性処理を行い、次いで、前記洗浄装置により変性した前記エッチングマスクの除去処理を行い、次いで前記回復処理装置において、前記除去処理までに前記被エッチング膜に入ったダメージをシリル化ガスによるシリル化処理によって回復させるように制御するとともに、前記回復処理装置において、前記シリル化ガスを供給する前および / または供給開始後に、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように半導体基板を加熱させて前記水分量を調整させることを特徴とする基板処理システム。

【請求項 1 9】

10

20

30

40

50

前記変性装置は、処理ガスとしてオゾンと水蒸気またはオゾン単体を用いることを特徴とする請求項 18 に記載の基板処理システム。

【請求項 20】

前記変性装置と、前記洗浄装置と、前記回復処理装置とは同一ユニット内に配置されていることを特徴とする請求項 18 または請求項 19 に記載の基板処理システム。

【請求項 21】

前記制御部は、前記回復処理装置において、前記シリル化ガスを供給する前に半導体基板を第 1 の温度に加熱し、供給開始後に半導体基板を第 1 の温度よりも高い第 2 の温度で加熱するように制御することを特徴とする請求項 18 から請求項 20 のいずれか 1 項に記載の基板処理システム。

10

【請求項 22】

前記制御部は、前記シリル化ガスを供給する前の加熱および / または供給開始後の加熱の際の温度を 50 ~ 200 に制御することを特徴とする請求項 18 から請求項 21 のいずれか 1 項に記載の基板処理システム。

【請求項 23】

所定パターンが形成されたエッチングマスクを介して半導体基板上の被エッチング層をドライエッチングして被エッチング膜に溝または孔を形成するドライエッチング装置と、ドライエッチングにより前記エッチングマスクを除去するドライエッチング装置と、回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理することにより前記被エッチング膜に入ったダメージを回復させる回復処理装置と、

20

半導体基板を加熱する加熱機構と、

半導体基板に水分を供給する機構と

これら装置および機構を制御する制御部とを具備し、

前記ドライエッチング装置、前記ドライエッチング装置、および前記回復処理装置は、同一処理ユニット内に一体的に設けられて真空雰囲気中で処理がなされ、

前記制御部は、前記ドライエッチング装置によりエッチングマスクが除去された半導体基板に前記水分を供給する機構により水分を供給し、次いで、半導体基板を前記加熱機構により加熱し、その後、前記回復処理装置において回復処理が行われるように制御するとともに、前記加熱機構による加熱の際に、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように前記水分量を調整させることを特徴とする基板処理システム。

30

【請求項 24】

前記加熱機構は前記回復処理装置に設けられ、前記制御部は、前記回復処理装置において、前記シリル化ガスの供給開始後に前記加熱機構により半導体基板を加熱するように制御することを特徴とする請求項 23 に記載の基板処理システム。

【請求項 25】

前記制御部は、前記回復処理装置において、前記加熱機構が、前記シリル化ガスを供給する前に半導体基板を第 1 の温度に加熱し、供給開始後に半導体基板を第 1 の温度よりも高い第 2 の温度で加熱するように制御することを特徴とする請求項 24 に記載の基板処理システム。

40

【請求項 26】

前記制御部は、前記回復ガスとしてのシリル化ガスを供給する前に前記加熱機構により行われる半導体基板の加熱の温度を 50 ~ 200 に制御することを特徴とする請求項 23 から請求項 25 のいずれか 1 項に記載の基板処理システム。

【請求項 27】

前記制御部は、前記回復ガスとしてのシリル化ガスを供給開始後に前記回復処理装置において前記加熱機構により行われる半導体基板の加熱の温度を 50 ~ 200 に制御することを特徴とする請求項 24 から請求項 26 のいずれか 1 項に記載の基板処理システム。

【請求項 28】

前記半導体基板に水分を導入する機構は、前記処理ユニットに設けられた大気導入部を

50

有することを特徴とする請求項 2 3 から請求項 2 7 のいずれか 1 項に記載の基板処理システム。

【請求項 2 9】

コンピュータ上で動作し、実行時に、請求項 1 から請求項 1 7 のいずれか 1 項に記載の製造方法が行なわれるように、コンピュータに製造システムを制御させることを特徴とする制御プログラム。

【請求項 3 0】

コンピュータ上で動作する制御プログラムが記憶されたコンピュータ読取可能な記憶媒体であって、

前記制御プログラムは、実行時に、請求項 1 から請求項 1 7 のいずれか 1 項に記載の製造方法が行われるように、コンピュータに製造システムを制御させることを特徴とするコンピュータ読取可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、例えば、シングルダマシン法やデュアルダマシン法によって形成される半導体装置の製造方法および半導体装置を製造する際に用いられる基板処理システムに関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

半導体デバイスの製造プロセスにおいては、配線溝または接続孔の形成にデュアルダマシン法が多用されている（例えば、特許文献 1 参照）。図 2 1 に従来のデュアルダマシン法による C u 配線の形成方法の一例を模式的に示す説明図を示す。

【0 0 0 3】

まず、基板上に、例えば、配線層 5 0 0、層間絶縁膜 5 0 1、反射防止膜 5 0 2 が下から順に形成され、その多層膜構造の表面に第 1 のレジスト膜 5 0 3 が形成される（図 2 1（a））。次いで第 1 のレジスト膜 5 0 3 がフォトリソグラフィ技術により所定のパターンにパターンニングされる（図 2 1（b））。このパターンニング工程では、第 1 のレジスト膜 5 0 3 が所定のパターンで露光され、その露光部が現像により選択的に除去される。続いて、この第 1 のレジスト膜 5 0 3 をマスクとしたエッチング処理により、反射防止膜 5 0 2 と層間絶縁膜 5 0 1 が蝕刻される。これにより多層膜構造の表面から配線層 5 0 0 に通じる接続孔 5 0 4 が形成される（図 2 1（c））。

【0 0 0 4】

続いて、例えば不要となった第 1 のレジスト膜 5 0 3 がアッシング処理により剥離除去され（図 2 1（d））、代わって配線溝を形成するための新たな第 2 のレジスト膜 5 0 5 が形成される（図 2 1（e））。第 2 のレジスト膜 5 0 5 はフォトリソグラフィ技術によりパターンニングされ（図 2 1（f））、その後、第 2 のレジスト膜 5 0 5 をマスクとしたエッチング処理により、反射防止膜 5 0 2 と層間絶縁膜 5 0 1 の一部が蝕刻される。こうして接続孔 5 0 4 に連通し接続孔 5 0 4 よりも幅の広い配線溝 5 0 6 が形成される（図 2 1（g））。不要となった第 2 のレジスト膜 5 0 5 は剥離除去され（図 2 1（h））、接続孔 5 0 4 と配線溝 5 0 6 の中に C u 材料が埋め込まれて、C u 配線 5 0 7 が形成される（図 2 1（i））。

【0 0 0 5】

ところで、半導体装置の微細化にともない、層間絶縁膜のもつ寄生容量は配線のパフォーマンスを向上させる上で重要な因子となっており、層間絶縁膜自体を低誘電率材料（Low - k 材料）で構成することが行われている。層間絶縁膜を構成する低誘電率材料（Low - k 材料）としては、メチル基等のアルキル基を末端基として有するものが一般的に用いられている。

【0 0 0 6】

しかしながら、上記のような従来のダマシンプロセスにおいては、レジスト膜剥離の際

10

20

30

40

50

に、Low-k材料からなる層間絶縁膜501がダメージを受ける。このようなダメージは、層間絶縁膜501の誘電率の上昇をもたらし、Low-k材料を用いる効果が損なわれてしまう。

#### 【0007】

そのようなダメージを極力小さくすべく、レジスト剥離にHeガスおよびH<sub>2</sub>ガスを用いた高温アッシングが提案されている（非特許文献1）が、この技術では、ダメージの抑制効果が十分とはいえず、そればかりかレジスト剥離性が低く実用的ではないという問題がある。

【特許文献1】特開2002-83869号公報

【非特許文献1】A.Matsushita et al. "Low damage ashing using H<sub>2</sub>/He plasma for porous ultra Low-k" Proceeding IITC '03 pp147-149

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、電気的特性および信頼性に優れた半導体装置を製造することができる半導体装置の製造方法およびそのような製造方法を実現するための基板処理システム、ならびにそのような製造方法を実行する制御プログラムおよびコンピュータ読取可能な記憶媒体を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

本発明の第1の観点では、半導体基板に形成された被エッチング膜の表面に所定の回路パターンを有するエッチングマスクを形成する工程と、前記エッチングマスクを介して前記被エッチング膜をエッチングし、前記被エッチング膜に溝または孔を形成する工程と、オゾンを含むガスによる処理を少なくとも含んで前記エッチングマスクを除去する工程と、前記除去工程までの工程により前記被エッチング膜に入ったダメージを回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理を行うことにより回復させる工程とを有し、前記ダメージを回復させる工程は、前記シリル化ガスを供給する前および/または供給開始後に、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように前記半導体基板を加熱して前記水分量を調整することを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法を提供する。

#### 【0010】

上記第1の観点において、前記エッチングマスクを除去する工程は、前記処理ガスとしてオゾンと水蒸気を用いて前記エッチングマスクを変性させた後、純水または薬液により処理するものとする。または、前記処理ガスとしてオゾンを用いて前記エッチングマスクを変性させた後、純水または薬液により処理するものとする。また、前記エッチングマスクを除去する工程の後、前記ダメージを回復させる工程に先立って前記半導体基板を洗浄する工程をさらに有してもよい。

#### 【0011】

本発明の第2の観点では、半導体基板に形成された被エッチング膜の表面に所定の回路パターンを有するエッチングマスクを形成する工程と、前記エッチングマスクを介して前記被エッチング膜をエッチングし、前記被エッチング膜に溝または孔を形成する工程と、前記エッチングマスクを除去する工程と、前記除去工程までの工程により前記被エッチング膜に入ったダメージを回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理を行うことにより回復させる工程とを有し、前記ダメージを回復させる工程は、前記シリル化ガスを供給する前および/または供給開始後に、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように前記半導体基板を加熱して前記水分量を調整することを含むことを特徴とする半導体装置の製造方法を提供する。

#### 【0012】

上記第2の観点において、前記シリル化ガスを供給する前の加熱および/または供給開始後の加熱は、50～200で行われることが好ましい。また、前記シリル化ガスを供

10

20

30

40

50

給する前の加熱および供給開始後の加熱の両方を行い、前記シリル化ガスを供給する前の加熱を第1の温度で行い、前記供給開始後の加熱は、第1の温度よりも高い第2の温度で行うことが好ましい。

【0013】

本発明の第3の観点では、半導体基板に形成された被エッチング膜の表面に所定の回路パターンを有するエッチングマスクを形成する工程と、前記エッチングマスクを介して前記被エッチング膜をドライエッチングによりエッチングし、前記被エッチング膜に溝または孔を形成する工程と、前記エッチングに引き続きドライ処理によりエッチングマスクを除去する工程と、前記エッチングマスクを除去する工程後に半導体基板が存在する環境に水分を導入して半導体基板に水分を供給する工程と、水分が吸着された半導体基板を加熱する工程と、前記加熱工程後に、前記除去工程までの工程により前記被エッチング膜に入ったダメージを回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理を行うことにより回復させる工程とを有し、前記加熱工程は、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように前記半導体基板を加熱して前記水分量を調整することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【0014】

上記第3の観点において、前記ドライエッチングによりエッチングし、前記被エッチング膜に溝または孔を形成する工程と、前記エッチングマスクを除去する工程と、前記ダメージ回復工程とは、一つのユニット内で行うようにすることができる。また、前記エッチングマスクを除去する工程は、酸素プラズマを用いたドライアッシング処理によって行うことができ、酸素ラジカルを用いたドライ処理によって行うこともできる。さらに、前記ダメージを回復させる工程は、前記シリル化ガスの供給開始後に基板を加熱することができる。この場合に、前記水分が吸着された半導体基板を加熱する工程を第1の温度で行い、前記シリル化ガスの供給開始後の加熱を第1の温度よりも高い第2の温度で行うことが好ましい。さらに、前記回復ガスとしてのシリル化ガスを供給する前に行われる半導体基板の加熱の温度は50～200であることが好ましい。さらに、前記半導体基板に水分を供給する工程は、半導体基板が存在する環境に大気を導入することにより行うことができる。

【0015】

上記第1～第3の観点において、前記シリル化ガスとして、分子内にシラザン結合(Si-N)を有する化合物を用いて行なうことが好ましく、前記分子内にシラザン結合を有する化合物が、TMDS(1,1,3,3-Tetramethyldisilazane)、TMSDMA(Dimethylaminotrimethylsilane)、DMSDMA(Dimethylsilyldimethylamine)、TMSPyrole(1-Trimethylsilylpyrrole)、BSTFA(N,O-Bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide)、BDMA DMS(Bis(dimethylamino)dimethylsilane)であることが好ましい。

【0016】

本発明の第4の観点では、所定パターンが形成されたエッチングマスクを介して半導体基板上の被エッチング層をエッチング装置によりエッチングして被エッチング膜に溝または孔を形成した後、半導体基板を処理する基板処理システムであって、オゾンを含む処理ガスにより前記エッチングマスクを変性させる変性装置と、変性したエッチングマスクを純水または薬液により除去する洗浄装置と、回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理することにより前記被エッチング膜に入ったダメージを回復させ、かつ半導体基板を加熱する機能を有する回復処理装置と、これら装置を制御する制御部とを具備し、前記制御部は、前記変性装置によりエッチングマスクの変性処理を行い、次いで、前記洗浄装置により変性した前記エッチングマスクの除去処理を行い、次いで前記回復処理装置において、前記除去処理までに前記被エッチング膜に入ったダメージをシリル化ガスによるシリル化処理によって回復させるように制御するとともに、前記回復処理装置において、前記シリル化ガスを供給する前および/または供給開始後に、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように半導体基板を加熱させて前記水分量を調整さ

せることを特徴とする基板処理システムを提供する。

【 0 0 1 7 】

上記第 4 の観点において、前記変性装置は、処理ガスとしてオゾンと水蒸気またはオゾン単体を用いることができる。また、前記変性装置と、前記洗浄装置と、前記回復処理装置とは同一ユニット内に配置されるように構成することができる。さらに、前記制御部は、前記回復処理装置において、前記シリル化ガスを供給する前および／または供給開始後に半導体基板を加熱するように制御するようにすることができる。さらにまた、前記制御部は、前記回復処理装置において、前記シリル化ガスを供給する前に半導体基板を第 1 の温度に加熱し、供給開始後に半導体基板を第 1 の温度よりも高い第 2 の温度で加熱するように制御することができる。さらにまた、前記制御部は、前記シリル化ガスを供給する前の加熱および／または供給開始後の加熱の際の温度を 5 0 ~ 2 0 0 に制御することが好ましい。

10

【 0 0 1 8 】

本発明の第 5 の観点では、所定パターンが形成されたエッチングマスクを介して半導体基板上の被エッチング層をドライエッチングして被エッチング膜に溝または孔を形成するドライエッチング装置と、ドライアッシングにより前記エッチングマスクを除去するドライアッシング装置と、回復ガスとしてシリル化ガスを供給してシリル化処理することにより前記被エッチング膜に入ったダメージを回復させる回復処理装置と、半導体基板を加熱する加熱機構と、半導体基板に水分を供給する機構とこれら装置および機構を制御する制御部とを具備し、前記ドライエッチング装置、前記ドライアッシング装置、および前記回復処理装置は、同一処理ユニット内に一体的に設けられて真空雰囲気中で処理がなされ、前記制御部は、前記ドライアッシング装置によりエッチングマスクが除去された半導体基板に前記水分を供給する機構により水分を供給し、次いで、半導体基板を前記加熱機構により加熱し、その後、前記回復処理装置において回復処理が行われるように制御するとともに、前記加熱機構による加熱の際に、前記半導体基板の水分量が前記シリル化処理に適したものとなるように前記水分量を調整させることを特徴とする基板処理システムを提供する。

20

【 0 0 1 9 】

上記第 5 の観点において、前記加熱機構は前記回復処理装置に設けられ、前記制御部は、前記回復処理装置において、前記シリル化ガスの供給開始後に前記加熱機構により半導体基板を加熱するように制御することができる。この場合に、前記制御部は、前記回復処理装置において、前記加熱機構が、前記シリル化ガスを供給する前に半導体基板を第 1 の温度に加熱し、供給開始後に半導体基板を第 1 の温度よりも高い第 2 の温度で加熱するように制御することが好ましい。また、前記制御部は、前記回復ガスとしてのシリル化ガスを供給する前に前記加熱機構により行われる半導体基板の加熱の温度を 5 0 ~ 2 0 0 に制御することが好ましい。さらに、前記制御部は、前記回復ガスとしてのシリル化ガスを供給開始後に前記回復処理装置において前記加熱機構により行われる半導体基板の加熱の温度を 5 0 ~ 2 0 0 に制御することが好ましい。さらにまた、前記半導体基板に水分を導入する機構は、前記処理ユニットに設けられた大気導入部を有する構成とすることができる。

30

40

【 0 0 2 0 】

本発明の第 6 の観点では、コンピュータ上で動作し、実行時に、上記第 1 ~ 第 3 の観点のいずれかの製造方法が行なわれるように、コンピュータに製造システムを制御させることを特徴とする制御プログラムを提供する。

【 0 0 2 1 】

本発明の第 7 の観点では、コンピュータ上で動作する制御プログラムが記憶されたコンピュータ読取可能な記憶媒体であって、前記制御プログラムは、実行時に、上記第 1 ~ 第 3 の観点のいずれかの製造方法が行われるように、コンピュータに製造システムを制御させることを特徴とするコンピュータ読取可能な記憶媒体を提供する。

【 発明の効果 】

50



## 【 0 0 2 2 】

本発明によれば、半導体基板上の被エッチング膜にエッチングマスクを介してエッチングにより配線溝または接続孔を形成した後に、エッチングマスクを除去する際に、オゾンを含む処理ガスによる処理を含む処理、具体的には、処理ガスとしてオゾンと水蒸気を用いてエッチングマスクを変性させた後、純水または薬液により処理するもの、または、処理ガスとしてオゾンを用いてエッチングマスクを変性させた後、純水または薬液により処理するものを採用し、その後シリル化処理のような処理ガスによる回復処理を行うことにより、実用的な速度でエッチングマスクを除去しつつ、その際の被エッチング膜のダメージを十分に回復させることができる。このため、電気的特性が改善され、信頼性に優れた半導体装置を製造することができる。

10

## 【 0 0 2 3 】

また、本発明によれば、半導体基板上の被エッチング膜にエッチングマスクを介してエッチングにより配線溝または接続孔を形成した後に、エッチングマスクを除去した後、シリル化処理のような回復ガスによる回復処理を行う際に、前記回復ガスを供給する前および/または供給開始後に半導体基板を加熱することにより、回復処理の効果を高めることができ、エッチングマスクを除去する際の被エッチング膜のダメージを十分に回復させることができる。このため、電気的特性が改善され、信頼性に優れた半導体装置を製造することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【 0 0 2 4 】

20

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。ここでは、シングルダマシン法およびデュアルダマシン法により半導体装置を製造する際に本発明を適用した例について説明する。

## 【 0 0 2 5 】

図1は本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の製造プロセスに用いられる半導体装置製造システムの概略構成を示す説明図である。この半導体装置製造システムは、SOD (Spin On Dielectric) 装置101と、レジスト塗布・現像装置102と、露光装置103と、レジストの変性、洗浄、および回復処理を行う変性・洗浄・回復処理装置104と、エッチング装置105と、PVD装置の1つであるスパッタ装置106と、電解メッキ装置107と、研磨装置としてのCMP装置109とを備えた処理部100と、プロセスコントローラ111、ユーザーインターフェース112、記憶部113を含むメイン制御部110を備えている。ここで、処理部100のSOD装置101とスパッタ装置106と電解メッキ装置107は、成膜装置である。なお、処理部100の装置間でウエハWを搬送する方法としては、オペレータによる搬送方法や、図示しない搬送装置による搬送方法が用いられる。

30

## 【 0 0 2 6 】

処理部100の各装置は、CPUを備えたプロセスコントローラ111に接続されて制御される構成となっている。プロセスコントローラ111には、工程管理者が処理部100の各装置を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、処理部100の各装置の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等からなるユーザーインターフェース112と、処理部100で実行される各種処理をプロセスコントローラ111の制御にて実現するための制御プログラムや処理条件データ等が記録されたレシピが格納された記憶部113とが接続されている。

40

## 【 0 0 2 7 】

そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース112からの指示等を受けて、任意のレシピを記憶部113から呼び出してプロセスコントローラ111に実行させることで、プロセスコントローラ111の制御下で、処理部100において所望の各種処理が行われる。また、前記レシピは、例えば、CD-ROM、ハードディスク、フレキシブルディスク、不揮発性メモリなどの読み出し可能な記憶媒体に格納された状態のものであってもよく、さらに、処理部100の各装置間、あるいは外部の装置から、例えば専用回線を介

50

して随時伝送させてオンラインで利用したりすることも可能である。

【 0 0 2 8 】

なお、メイン制御部 1 1 0 により全ての制御を行ってもよいが、メイン制御部 1 1 0 は全体的な制御のみを行って、各装置毎、または所定の装置群毎に下位の制御部を設けて制御を行うようにしてもよい。

【 0 0 2 9 】

上記 S O D 装置 1 0 1 は、ウエハ W に薬液を塗布して L o w - k 膜等の層間絶縁膜やエッチングストップ膜等をスピンコート法により形成するために用いられる。S O D 装置 1 0 1 の詳細な構成は図示しないが、S O D 装置 1 0 1 は、スピンコーターユニットと、塗布膜が形成されたウエハ W を熱処理する熱処理ユニットを備えている。ウエハ処理システムでは、S O D 装置 1 0 1 に代えて、化学気相蒸着法 ( C V D ; chemical vapor deposition ) 法によりウエハ W に絶縁膜等を形成する C V D 装置を用いてもよい。

10

【 0 0 3 0 】

上記レジスト塗布・現像装置 1 0 2 は、エッチングマスクとして用いられるレジスト膜や反射防止膜等を形成するために用いられる。レジスト塗布・現像装置 1 0 2 の詳細な構成は図示しないが、レジスト塗布・現像装置 1 0 2 は、ウエハ W にレジスト液等を塗布してレジスト膜等をスピンコート成膜するレジスト塗布処理ユニットと、ウエハ W に反射防止膜 ( B A R C ) を塗布する B A R C 塗布処理ユニットと、ウエハ W に犠牲膜を塗布する犠牲膜塗布処理ユニットと、露光装置 1 0 3 において所定のパターンで露光されたレジスト膜を現像処理する現像処理ユニットと、レジスト膜が成膜されたウエハ W や露光処理されたウエハ W 、現像処理が施されたウエハ W をそれぞれ熱的に処理する熱的処理ユニット等を有している。露光装置 1 0 3 は、レジスト膜が形成されたウエハ W に所定の回路パターンを露光するために用いられる。

20

【 0 0 3 1 】

変性・洗浄・回復処理装置 1 0 4 は、後に詳細に説明するように、エッチング処理後のレジスト膜等の変性処理、変性処理後のレジスト膜等の純水または薬液での洗浄除去、およびレジスト膜除去の際の層間絶縁膜のダメージを回復させる回復処理を行うものである。

【 0 0 3 2 】

エッチング装置 1 0 5 は、ウエハ W 上に形成された層間絶縁膜等にエッチング処理を施すためのものである。エッチング処理は、プラズマを利用するものであってもよく、薬液を用いるものであってもよい。

30

【 0 0 3 3 】

スパッタ装置 1 0 6 は、例えば、拡散防止膜や C u シードを形成するために用いられる。電解メッキ装置 1 0 7 では C u シードが形成された配線溝等に C u が埋め込まれ、C M P 装置 1 0 9 は C u が埋め込まれた配線等の表面の平坦化処理を行うためのものである。

【 0 0 3 4 】

次に、本実施形態にとって重要な役割を果たす変性・洗浄・回復処理装置 1 0 4 について詳細に説明する。図 2 は変性・洗浄・回復処理装置 1 0 4 の概略平面図であり、図 3 はその概略正面図であり、図 4 はその概略背面図である。変性・洗浄・回復処理装置 1 0 4 は、ウエハ W が収容されたキャリアが他の処理装置等から順次搬入され、逆に変性・洗浄・回復処理装置 1 0 4 における処理の終了したウエハ W を収容したキャリアを次の処理を行う処理装置等へ搬出するためのキャリアステーション 4 と、洗浄処理や変性処理、回復処理をそれぞれ行う複数の処理ユニットが設けられた処理ステーション 2 と、処理ステーション 2 とキャリアステーション 4 との間でウエハ W の搬送を行う搬送ステーション 3 と、処理ステーション 2 で使用する薬液や純水、ガス等の製造、調製、貯留を行うケミカルステーション 5 とを具備している。また、変性・洗浄・回復処理装置 1 0 4 の各構成部を制御するための制御部 2 6 が設けられている。

40

【 0 0 3 5 】

キャリア C の内部において、ウエハ W は略水平姿勢で鉛直方向 ( Z 方向 ) に一定の間隔

50

で収容されている。このようなキャリアCに対するウエハWの搬入出はキャリアCの一側面を通して行われ、この側面は蓋体10a(図2には図示せず。図3および図4に蓋体10aが取り外された状態を示す)によって開閉自在となっている。

【0036】

図2に示すように、キャリアステーション4は、図中Y方向に沿って3箇所にキャリアCを載置できる載置台6を有している。キャリアCは蓋体10aが設けられた側面がキャリアステーション4と搬送ステーション3との間の境界壁8a側を向くようにして載置台6に載置される。境界壁8aにおいてキャリアCの載置場所に対応する位置には窓部9aが形成されており、各窓部9aの搬送ステーション3側には窓部9aを開閉するシャッタ10が設けられている。このシャッタ10はキャリアCの蓋体10aを把持する把持手段(図示せず)を有しており、図3および図4に示すように、蓋体10aを把持した状態で搬送ステーション3側に、蓋体10aを退避させることができるようになっている。

10

【0037】

搬送ステーション3に設けられたウエハ搬送装置7はウエハWを保持可能なウエハ搬送ピック7aを有している。ウエハ搬送装置7は搬送ステーション3の床にY方向に延在するように設けられたガイド(図3および図4参照)7bに沿ってY方向に移動可能である。また、ウエハ搬送ピック7aは、X方向にスライド自在であり、かつ、Z方向に昇降自在であり、かつ、X-Y平面内で回転自在(回転)である。

【0038】

このような構造により、キャリアCの内部と搬送ステーション3とが窓部9aを介して連通するようにシャッタ10を退避させた状態において、ウエハ搬送ピック7aは、載置台6に載置された全てのキャリアCにアクセス可能であり、キャリアC内の任意の高さ位置にあるウエハWをキャリアCから搬出することができ、逆にキャリアCの任意の位置にウエハWを搬入することができる。

20

【0039】

処理ステーション2は、搬送ステーション3側に2台のウエハ載置ユニット(TRS)13a, 13bを有している。例えば、ウエハ載置ユニット(TRS)13bは搬送ステーション3からウエハWを受け入れる際にウエハWを載置するために用いられ、ウエハ載置ユニット(TRS)13aは処理ステーション2において所定の処理が終了したウエハWを搬送ステーション3に戻す際にウエハWを載置するために用いられる。

30

【0040】

処理ステーション2の背面側には、エッチング処理後の反射防止膜およびレジストマスクをオゾン(O<sub>3</sub>)を含む処理ガス、例えばオゾンと水蒸気との混合ガスまたはオゾン単体により、純水または所定の薬液に対して可溶化するように変性させる変性処理ユニット(VOS)15a~15fが配置されている。この変性処理ユニット(VOS)15a~15fでは、エッチング処理後のレジスト膜の形状はそのままに維持されつつ、その化学的性質のみが純水または所定の薬液に可溶化するように変化する。

【0041】

変性処理ユニット(VOS)15a, 15dの上には、変性処理および洗浄処理によるレジスト除去によって層間絶縁膜が受けたダメージを回復させるための回復処理としてシリル化処理を行うシリル化処理ユニット(SCH)11a, 11bが設けられている。

40

【0042】

処理ステーション2の正面側には、変性処理ユニット(VOS)15a~15fにおける処理が終了したウエハWに薬液処理や水洗処理を施して、変性したレジスト膜を除去し、あるいは除去後の洗浄処理を行う洗浄ユニット(CNU)12a~12dが配置されている。

【0043】

処理ステーション2において、主ウエハ搬送装置14を挟んでウエハ載置ユニット(TRS)13a, 13bと対向する位置には、洗浄処理ユニット(CNU)12a~12dでの処理を終えたウエハWを加熱乾燥するホットプレートユニット(HP)19a~19

50

dが4段に積み重ねられて配置されている。さらにまた、ウエハ載置ユニット(TRS)13aの上側には、加熱乾燥処理されたウエハWを冷却するクーリングプレートユニット(COL)21a, 21bが積み重ねられている。なお、ウエハ載置ユニット(TRS)13bは、クーリングプレートユニットとして用いることが可能である。処理ステーション2の上部には処理ステーション2の内部に清浄な空気を送風するファンフィルターユニット(FFU)25が設けられている。

【0044】

処理ステーション2の略中央部には、処理ステーション2内においてウエハWを搬送する主ウエハ搬送装置14が設けられている。主ウエハ搬送装置14は、ウエハWを搬送するウエハ搬送アーム14aを有している。主ウエハ搬送装置14はZ軸周りに回転自在である。また、ウエハ搬送アーム14aは水平方向で進退自在であり、かつZ方向に昇降自在である。このような構造により、主ウエハ搬送装置14は、それ自体をX方向に移動させることなく、処理ステーション2に設けられた各ユニットにアクセスすることができ、これら各ユニット間でウエハWを搬送することができるようになっている。

【0045】

ケミカルステーション5には、処理ステーション2に設けられた変性処理ユニット(VOS)15a~15fへ処理ガスとしてオゾンや水蒸気等を供給する処理ガス供給部16と、洗浄ユニット(CNU)12a~12dへ洗浄液を供給する洗浄液供給部17と、シリル化処理ユニット(SCH)11a, 11bにシリル化剤やキャリアガス等を供給するシリル化剤供給部18とを有している。

【0046】

次に、変性処理ユニット(VOS)15aの構造について、図5に示す概略断面図を参照しながら詳細に説明する。この変性処理ユニット(VOS)15aは、ウエハWを収容する密閉式のチャンバ30を有しており、チャンバ30は固定された下部容器41aと、下部容器41aの上面を覆う蓋体41bから構成され、蓋体41bは膜変性処理ユニット(VOS)15aのフレーム42に固定されたシリンダ43によって昇降自在である。図5は蓋体41bを下部容器41aに密接させた状態と、蓋体41bを下部容器41aの上方に待避させた状態を示している。

【0047】

下部容器41a周縁の立起部の上面にはOリング51が配置されている。シリンダ43を駆動して蓋体41bを降下させると、蓋体41bの裏面周縁が下部容器41a周縁の立起部の上面に当接するとともに、Oリング51が圧縮されてチャンバ30内に密閉された処理空間が形成される。

【0048】

下部容器41aにはウエハWを載置するステージ33が設けられており、このステージ33の表面には、ウエハWを支持するプロキシミティピン44が複数箇所に設けられている。

【0049】

ステージ33の内部にはヒータ45aが、蓋体41bにはヒータ45bがそれぞれ埋設されており、ステージ33と蓋体41bをそれぞれ所定温度で保持することができるようになっている。これによりウエハWの温度が一定に保持される。

【0050】

蓋体41bの裏面には、ウエハWを保持する爪部材46が、例えば3箇所(図5では2箇所のみ図示)に設けられている。ウエハ搬送アーム14aはこの爪部材46に対してウエハWの受け渡しを行う。爪部材46がウエハWを保持した状態で蓋体41bを降下させると、その降下途中でウエハWは、ステージ33に設けられたプロキシミティピン44に受け渡しされる。

【0051】

チャンバ30では、処理ガスを内部に導入するガス導入口34aおよび処理ガスを外部へ排気するガス排出口34bが下部容器41aに設けられている。処理ガス供給部16は

10

20

30

40

50

ガス導入口 3 4 a に接続され、ガス排出口 3 4 b には排気装置 3 2 が接続されている。処理ガス供給部 1 6 からは、オゾンと水蒸気との混合ガス、または水蒸気を停止してオゾン単体が供給されるようになっている。なお、処理ガス供給部 1 6 からは希釈ガス等としての  $N_2$  ガスも供給可能となっている。

【 0 0 5 2 】

ウエハ W の処理ガスによる処理は、チャンバ 3 0 の内部を一定の陽圧に保持して行うことが好ましい。このために下部容器 4 1 a と蓋体 4 1 b とをシリンダ 4 3 により押圧力するだけでなく、これらの端面に設けられた突起部 4 7 a , 4 7 b どうしをロック機構 3 5 によって締め付ける。

【 0 0 5 3 】

このロック機構 3 5 は、支持軸 5 2 と、回転装置 5 4 によって回転自在にされた回転筒 5 5 と、回転筒 5 5 に固定された円板 5 6 と、円板 5 6 の周縁に設けられた挟持部材 5 7 とを有している。挟持部材 5 7 は、押圧ローラ 5 9 a , 5 9 b と、回転軸 5 8 を保持するローラ保持部材 4 8 とを有している。

【 0 0 5 4 】

突起部 4 7 a , 4 7 b は、等間隔に 4 力所に設けられており、これらの間には間隙部 4 9 が形成されている。突起部 4 7 a , 4 7 b はそれぞれ重なる位置に配置される。この間隙部 4 9 の位置に挟持部材 5 7 が配置されている状態では、蓋体 4 1 b の昇降を自由に行うことができる。

【 0 0 5 5 】

回転筒 5 5 とともに円板 5 6 を所定角度回転させると、押圧ローラ 5 9 b は突起部 4 7 b の上面で静止し、押圧ローラ 5 9 a は突起部 4 7 a の下側で静止する。なお、他の変性処理ユニットも全く同様の構造を有している。

【 0 0 5 6 】

次に、シリル化処理ユニット ( S C H ) 1 1 a について、図 6 に示す概略断面図を参照しながら詳細に説明する。シリル化処理ユニット ( S C H ) 1 1 a は、ウエハ W を収容するチャンバ 6 1 を備えており、チャンバ 6 1 は、固定された下部容器 6 1 a と、下部容器 6 1 a を覆う蓋体 6 1 b から構成され、蓋体 6 1 b は図示しない昇降装置により昇降自在である。下部容器 6 1 a にはホットプレート 6 2 が設けられており、ホットプレート 6 2 の周囲からシリル化剤、例えば D M S D M A ( Dimethylsilyldimethylamine ) の蒸気がチャンバ 6 1 内に供給されるようになっている。D M S D M A は気化器 6 3 によって気化されて蒸気状になり、 $N_2$  ガスにキャリアされてチャンバ 6 1 に供給される。

【 0 0 5 7 】

ホットプレート 6 2 内には、ヒータ 6 2 a が埋設されており、このヒータ 6 2 a によって、例えば、室温 ~ 2 0 0 の範囲で温度調節が可能であり、その表面にはウエハ W を支持するピン 6 4 が設けられている。ウエハ W をホットプレート 6 2 に直接載置しないことで、ウエハ W の裏面の汚染が防止される。下部容器 6 1 a の外周部上面には第 1 シールリング 6 5 が設けられており、蓋体 6 1 b の外周部下面には、蓋体 6 1 b を下部容器 6 1 a に押し付けた際に第 1 シールリング 6 5 と接触する第 2 シールリング 6 6 が設けられている。これら第 1 および第 2 シールリング 6 5 , 6 6 のペアは内側と外側に 2 組設けられており、これらの間の空間は減圧可能となっていて、この空間を減圧することにより、チャンバ 6 1 の気密性が確保される。蓋体 6 1 b の略中心部には、チャンバ 6 1 に供給された D M S D M A を含む窒素ガスを排気するための排気口 6 7 が設けられており、この排気口 6 7 は圧力調整装置 6 8 を介して、真空ポンプ 6 9 に接続されている。

【 0 0 5 8 】

本実施形態では、後述するように、好ましくは、シリル化剤がチャンバ 6 1 に導入される前および / または導入開始後に、ヒータ 6 2 a によりウエハ W が加熱されるように制御部 2 6 によって制御される。この際の加熱温度は 5 0 ~ 1 5 0 が好適である。

【 0 0 5 9 】

なお、図 6 では、液体の D M S D M A ガスを気化器 6 3 により気化させ、 $N_2$  ガスによ

10

20

30

40

50

りキャリアさせてチャンバ61に供給するようにしたが、DMSDMAを気化させたガス（つまりDMSDMA蒸気）のみをチャンバ61に供給する構成としてもよい。DMSDMAをチャンバ61内に供給する際には、チャンバ61内は所定の真空度に保持されているので、気化器63とチャンバ61の圧力差を利用して、DMSDMAガスをチャンバ61に導入することは容易に行うことができる。また、シリル化処理ユニット（SCH）11bもシリル化処理ユニット（SCH）11aと全く同様の構造を有している。

#### 【0060】

次に、洗浄ユニット12aについて、図7に示す概略断面図を参照しながら詳細に説明する。この洗浄ユニット（CNU）12aは、その中央部に環状のカップ（CP）が配置され、カップ（CP）の内側にはスピンチャック71が配置されている。スピンチャック71は真空吸着によってウエハWを固定保持した状態で駆動モータ72によって回転駆動される。カップ（CP）の底部には洗浄液、純水を排出するドレイン73が設けられている。

10

#### 【0061】

駆動モータ72は、ユニット底板74に設けられた開口74aに昇降移動可能に配置され、キャップ状のフランジ部材75を介して例えばエアシリンダからなる昇降駆動機構76および昇降ガイド77と結合されている。駆動モータ72の側面には、筒状の冷却ジャケット78が取り付けられ、フランジ部材75は、この冷却ジャケット78の上半部を覆うように取り付けられている。

#### 【0062】

20

薬液等をウエハWに供給する際には、フランジ部材75の下端75aは、開口74aの周縁付近でユニット底板74に密着し、これによってユニット内部が密閉される。スピンチャック71とウエハ搬送アーム14aとの間でウエハWの受け渡しが行われるときは、昇降駆動機構76が駆動モータ72およびスピンチャック71を上方へ持ち上げることでフランジ部材75の下端75aがユニット底板74から浮くようになっている。

#### 【0063】

カップ（CP）の上方には、変性処理ユニット（VOS）15a～15fのいずれかで変性されたレジスト膜が存在するウエハWの表面に、当該変性物質を溶解する所定の洗浄液を供給する洗浄液供給機構80を備えている。

#### 【0064】

30

洗浄液供給機構80は、スピンチャック71に保持されたウエハWの表面に洗浄液を吐出する洗浄液吐出ノズル81と、洗浄液吐出ノズル81に所定の洗浄液を送液する上述した洗浄液供給部17と、洗浄液吐出ノズル81を保持し、Y方向に進退自在なスキャンアーム82と、スキャンアーム82を支持する垂直支持部材85と、ユニット底板74の上でX軸方向に敷設されたガイドレール84に取り付けられ、垂直支持部材85をX軸方向へ移動させるX軸駆動機構96とを有している。スキャンアーム82はZ軸駆動機構97によって上下方向（Z方向）に移動可能であり、これにより洗浄液吐出ノズル81をウエハW上の任意の位置に移動させ、またカップ（CP）外の所定位置に退避させることができるようになっている。

#### 【0065】

40

洗浄液供給部17は、変性処理ユニット（VOS）15a～15fのいずれかで変性された犠牲膜等の変性物質を溶解する例えば希フッ酸、アミン系薬液等の溶解除去液と、リンス液として用いられる純水とを選択的に洗浄液吐出ノズル81へ送液することができるようになっている。なお、洗浄処理ユニット（CNU）12b～12dも洗浄処理ユニット（CNU）12aと同様に構成されている。

#### 【0066】

次に、上記図1の半導体装置製造システムを用いたシングルダマシン法による半導体装置の製造プロセスの一例について説明する。図8はこのような製造プロセスを示すフローチャート、図9は図8のフローを示す工程断面図である。

#### 【0067】

50

まず、S i 基板（図示せず）上に絶縁膜 1 2 0 が形成され、その中の上部にバリアメタル層 1 2 1 を介して下部銅配線 1 2 2 が形成され、絶縁膜 1 2 0 および下部銅配線 1 2 2 の上にストッパ層（例えば S i N 膜や S i C 膜）1 2 3 が形成されているウエハを準備し、このウエハ W を S O D 装置 1 0 1 に搬入して、そこでストッパ膜 1 2 3 上に低誘電率材料（L o w - k 材料）からなる層間絶縁膜（以下、L o w - k 膜と記す）1 2 4 を形成する（ステップ 1）。これにより、図 9（a）の状態が形成される。

#### 【0068】

次いで、L o w - k 膜 1 2 4 が形成されたウエハ W を、レジスト塗布・現像装置 1 0 2 に搬入し、そこで L o w - k 膜 1 2 4 上に反射防止膜 1 2 5 a とレジスト膜 1 2 5 b を逐次形成し、引き続き、ウエハ W を露光装置 1 0 3 に搬送して、そこで所定のパターンで露光処理し、さらに、ウエハ W をレジスト塗布・現像装置 1 0 2 に戻して、現像処理ユニットにおいてレジスト膜 1 2 5 b を現像処理することによって、レジスト膜 1 2 5 b に所定の回路パターンを形成する（ステップ 2）。これにより、図 9（b）の状態が形成される。

#### 【0069】

次いで、ウエハ W をエッチング装置 1 0 5 に搬送して、そこでエッチング処理を行う（ステップ 3）。これによりストッパ膜 1 2 3 に達するビア 1 2 8 a が L o w - k 膜 1 2 4 に形成される（図 9（c））。

#### 【0070】

エッチング処理が終了したウエハ W は、変性・洗浄・回復処理装置 1 0 4 へ搬送され、最初に、変性処理ユニット（V O S）1 5 a ~ 1 5 f のいずれかにおいて、オゾンを含むガス、例えばオゾンと水蒸気との混合ガスまたはオゾン単体により、反射防止膜 1 2 5 a およびレジスト膜 1 2 5 b を水溶性または所定の薬液に溶解可能に変性して変性膜 1 2 5 a、1 2 5 b とする処理が行われる（ステップ 4、図 9（d））。

#### 【0071】

具体的には、まず、キャリア C の所定位置にある 1 枚のウエハ W がウエハ載置ユニット（T R S）1 3 b へ搬送され、ウエハ載置ユニット（T R S）1 3 b に載置されたウエハ W をウエハ搬送アーム 1 4 a によって変性処理ユニット（V O S）1 5 a ~ 1 5 f のいずれか（例えば 1 5 a）に搬入する。蓋体 4 1 b を下部容器 4 1 a の上方に退避させた状態で、蓋体 4 1 b に設けられた爪部材 4 6 のウエハ W を保持する部分（水平方向に突出した部分）よりも僅かに高い位置へウエハ W を進入させ、爪部材 4 6 に受け渡す。そして、蓋体 4 1 b を降下させて、蓋体 4 1 b を下部容器 4 1 a に密着させ、さらにロック機構 3 5 を動作させて、チャンバ 3 0 を密閉状態とする。蓋体 4 1 b を降下させる途中で、ウエハ W は爪部材 4 6 からプロキシミティピン 4 4 へ受け渡され、ヒータ 4 5 a、4 5 b にてステージ 3 3 を所定の温度に保持する。この際のウエハ温度は、好ましくは、1 0 0 ~ 1 5 0、典型的には、基板温度 1 0 5 とする。

#### 【0072】

ステージ 3 3 および蓋体 4 1 b が所定温度に保持され、かつ、ウエハ W の温度分布がほぼ一定となったら、最初に処理ガス供給部 1 6 からオゾン / 窒素混合ガス（例えば、オゾン含有量が 9 % で、流量が 4 L / m i n）のみをチャンバ 3 0 内に供給して、チャンバ 3 0 の内部がオゾン / 窒素混合ガスで充満され、かつ所定圧力になるように調節する。この場合のオゾン濃度は、好ましくは 1 ~ 2 0 %、典型的には 9 % であり、オゾン流量は、濃度が 9 % のときには 1 ~ 1 0 L / m i n が好ましく、典型的には 4 L / m i n である。チャンバ 3 0 内の圧力は 2 0 0 k P a 以下が好ましく、所定の陽圧となるように調節することができる。その後、オゾン / 窒素混合ガスに水蒸気を混合させた処理ガスを、処理ガス供給部 1 6 からチャンバ 3 0 内に供給する。この際の水蒸気流量は 0 ~ 1 0 m L / m i n が好ましく、典型的には 5 m L / m i n である。水蒸気量が 0 m L / m i n の場合には、オゾン / 窒素混合ガスだけの処理となる。このような処理ガスによってウエハ W に形成されている反射防止膜 1 2 5 a およびレジスト膜 1 2 5 b は水溶性または特定の薬液に溶解され易い性質へと変性される。この際の処理時間は、例えば 3 0 ~ 6 0 0 s e c であり、

典型的には 300 sec である。

【0073】

ウエハWの処理ガスによる処理が終了したら、処理ガスの供給を停止して、処理ガス供給部16からチャンバ30内に窒素ガスを供給し、チャンバ30内を窒素ガスでパージする。このパージ処理時には、その後にチャンバ30を開いたときに、排気装置32からオゾン/窒素混合ガスが逆流してオゾン/窒素混合ガスがチャンバ30から排出されないように、排気装置32内からもオゾン/窒素混合ガスを完全に排出する。

【0074】

このような変性処理後のウエハWは、洗浄ユニット(CNU)12a~12dのいずれかへ搬送されて、変性された反射防止膜およびレジスト膜である変性膜125a、125bを溶解除去する処理が行われる(ステップ5、図9(e))。この場合に、反射防止膜125aおよびレジスト膜125bが水溶性になっていれば純水を供給することにより溶解除去可能であるが、水溶性にはならず、他の所定の薬液に溶解可能となる場合であっても、そのような薬液を供給することにより溶解される。

【0075】

このようにして、反射防止膜125aおよびレジスト膜125bを除去する際には、Low-k膜124に形成されたビア128aの側壁がダメージを受け、図9(e)に示すようなダメージ部129aが形成される。具体的には、図10に示すように、末端基がメチル基(Me)であり疎水性であるLow-k膜124が、変性処理の際に水分と反応してビア128aの側壁近傍におけるメチル基が減少し、水酸基が増加しダメージが入った状態となって誘電率が上昇する。

【0076】

なお、図9(e)には、ダメージ部129aを模式的に示しているが、実際は、ダメージ部129aとダメージを受けていない部分との境界は図示のように明確ではない。

【0077】

ビア128aの側壁にこのようなダメージ部129aが形成された状態で、その後にビア128aを金属材料で埋めて接続孔を形成すると、配線間の寄生容量が増大するため、信号遅延や配線間の絶縁性が低下する等の問題が生ずる。

【0078】

そこで、レジスト膜等を除去した後のLow-k膜124のダメージを回復させるために、ウエハWをシリル化処理ユニット(SCH)11a、11bのいずれかに搬送し、そこでダメージ部の回復処理としてシリル化処理を行う(ステップ6、図9(f))。これにより、ダメージが回復してLow-k膜124の比誘電率をイニシャルに近い値まで回復させることができる。シリル化処理の条件は、シリル化剤(シリル化ガス)の種類に応じて選択すればよく、例えば気化器63の温度は室温~50、シリル化剤流量は0.1~1.0g/min、N<sub>2</sub>ガス(パージガス)流量は1~10L/min、処理圧力は666~96000Pa(5~720Torr)、ホットプレート62の温度は室温~200などの範囲から適宜設定することができる。

【0079】

この場合に、シリル化剤の導入に先立ってヒータ62aによりウエハWを加熱(プリベーク)することが好ましい。この加熱によりウエハWに残存している水分を除去して水分量を調節することができる。ウエハWに残存している水分が多すぎる状態でシリル化剤を導入すると、シリル化剤とH<sub>2</sub>Oとが反応してパーティクルが発生して処理不良となるおそれがあるが、このようにウエハWのプリベークを行うことにより、処理不良を回避することができる。ただし、プリベークの温度が高すぎると、レジスト除去等によりダメージを受けたLow-k膜で以下の脱水縮合が起こり、その後にシリル化ガスを導入してもシリル化反応が阻害される。



また、ウエハWが所定温度よりも高温になった状態でシリル化剤(シリル化ガス)を導入すると、ウエハWの表面近傍のみで反応が進むのに対し、ウエハWの温度がより低い適

10

20

30

40

50



切な温度でシリル化剤を導入すると、特に誘電率の低いポーラスLow-k膜の場合に、Low-k膜の細孔にシリル化剤が入り込んで膜内部においてシリル化反応が発生するようになるため、ダメージ回復がより促進されることとなる。

【0080】

このような観点から、上記プリベークを行う場合には、ウエハWの温度は、上記効果が生じる50以上で、上記不都合が生じない200以下であること、すなわち50～200の範囲であることが好ましい。

【0081】

シリル化剤導入開始後は、反応を促進する観点からウエハWを加熱することが好ましい。この際に、適度な反応促進効果を発揮させるためにはウエハ温度は50～150が好ましい。

10

【0082】

シリル化剤導入前の加熱（プリヒート）およびシリル化剤導入後の加熱は、いずれか一方でも効果があるが、両方行うことにより大きな効果を得ることができる。この場合に、シリル化剤導入前の加熱の温度よりもシリル化剤導入後の加熱の温度が高いほうが好ましい。このような2段階の加熱を実現するためには、ヒータ62aによりホットプレート62をシリル化剤導入開始後の温度に対応する第2の温度に加熱しておき、図6において図示しないリフトピンを上昇させた状態でウエハWを支持し、第2の温度よりも低い第1の温度にウエハWを加熱しておき、シリル化剤の供給開始後、ウエハWを降下させて第2の温度に昇温させる方法を採用することができる。また、加熱手段としてランプを設け、ウエハを載置台に載せた状態で第1の温度で加熱してプリベークを行い、シリル化剤の供給開始後、ランプの出力を上げてウエハを第2の温度まで加熱する方法を採用することもできる。

20

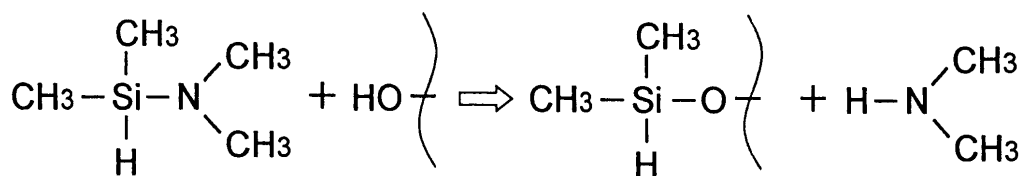
【0083】

シリル化剤としてDMSDMAを用いる場合は、例えば、ホットプレート62の温度を所定の温度にし、チャンバ61内圧力を5 Torr (= 666 Pa) に減圧し、その後DMSDMAの蒸気を窒素ガスにキャリアさせてチャンバ61内圧力が55 Torrになるまで供給し、その圧力を維持しながら、例えば3分間保持し、処理する方法が挙げられる。DMSDMAを用いたシリル化反応は、下記化1式で示される。

【0084】

30

【化1】



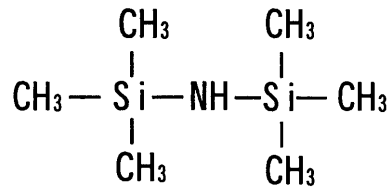
【0085】

シリル化剤としては、以上のDMSDMAに限らず、シリル化反応を起こす物質であれば特に制限なく使用可能であるが、分子内にシラザン結合（Si-N結合）を有する化合物群の中で比較的小さな分子構造を持つもの、例えば分子量が260以下のものが好ましく、分子量170以下のものがより好ましい。具体的には、例えば、前記DMSDMA、HMDSのほか、TMSDMA（Dimethylaminotrimethylsilane）、TMDS（1,1,3,3-Tetramethyldisilazane）、TMSPyrole（1-Trimethylsilylpyrrole）、BSTFA（N,O-Bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide）、BDMADMS（Bis(dimethylamino)dimethylsilane）等を用いることが可能である。これらの化学構造を以下に示す。

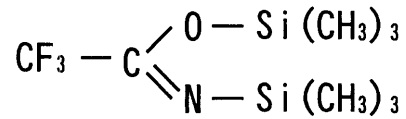
40

【0086】

## 【化 2】

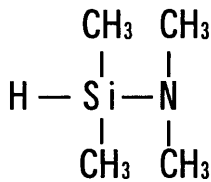


H M D S

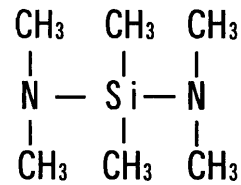


B S T F A

10

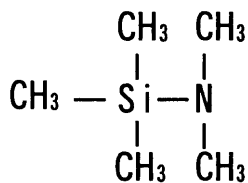


D M S D M A

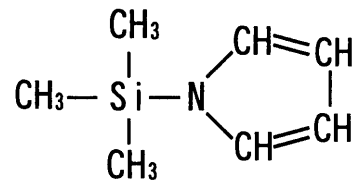


B D M A D M S

20

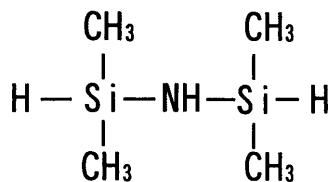


T M S D M A



T M S p y r o l e

30



T M D S

40

## 【 0 0 8 7 】

上記化合物の中でも、誘電率の回復効果やリーク電流の低減効果が高いものとして、TMSDMAおよびTMDSを用いることが好ましい。また、シリル化後の安定性の観点からは、シラザン結合を構成するSiが3つのアルキル基（例えばメチル基）と結合している構造のもの（例えばTMSDMA、HMDSなど）が好ましい。

## 【 0 0 8 8 】

50

なお、シリル化処理による回復効果をより高める観点からは、レジスト膜等を除去した後、アルカリ薬液等の薬液により洗浄処理し、その後シリル化処理を行うことが好ましい。

【0089】

このようなシリル化処理が終了したウエハWは、エッチング装置105に搬送され、そこでストッパ膜123を除去するためのエッチング処理が行われる（ステップ7、図9（g））。次いで、ウエハWは変性・洗浄・回復処理装置104へ搬送され、洗浄ユニット（CNU）12a～12dのいずれかにおいて洗浄処理される（ステップ8）。このようなエッチング処理や洗浄処理によっても、Low-k膜124がダメージを受ける場合があるが、その場合には、上記と同様にしてシリル化処理を施してもよい。

10

【0090】

その後、ウエハWをスパッタ装置106へ搬送して、そこでビア128aの内壁にバリアメタル膜およびCuシード層（つまり、メッキシード層）を形成し、次いで、ウエハWを電解メッキ装置107に搬送して、そこで電解メッキによりビア128aに配線金属として銅126を埋め込む（ステップ9、図9（h））。その後、ウエハWを熱処理することによってビア128aに埋め込まれた銅126のアニール処理を行い（アニール装置は図1に示さず）、さらにウエハWをCMP装置109へ搬送し、そこでCMP法による平坦化処理が行われる（ステップ10）。これにより所望の半導体装置が製造される。

【0091】

このようにして半導体装置を製造することにより、オゾンを含む処理ガスによる変性処理および洗浄処理によって、アッシングの場合よりもレジスト膜等の除去の際におけるLow-k膜へのダメージを少なくすることができるとともに、シリル化処理によるダメージ回復効果が高く、比誘電率を十分に回復させることができ、電気的特性に優れた半導体装置を得ることができる。このため、半導体装置の信頼性を向上させることができる。

20

【0092】

次に、上記図1の半導体装置製造システムを用いたデュアルダマシン法による半導体装置の製造プロセスについて説明する。図11はこのような製造プロセスを示すフローチャート、図12は図11のフローを示す工程断面図である。ここでは、各工程で使用される装置は先の説明で明らかであるので、装置の説明は省略する。

【0093】

まず、上記シングルダマシン法を用いた例と同様、Si基板（図示せず）上に絶縁膜120が形成され、その中の上部にバリアメタル層121を介して下部銅配線122が形成され、絶縁膜120および下部銅配線122の上にストッパ層（例えばSiN膜やSiC膜）123が形成されているウエハを準備し、このウエハWのストッパ膜123に低誘電率材料（Low-k材料）からなるLow-k膜124を形成する（ステップ101、図12（a））。

30

【0094】

次いで、Low-k膜124上に反射防止膜125aとレジスト膜125bを逐次形成し、引き続き、所定のパターンで露光処理し、さらに、レジスト膜125bを現像処理することによって、レジスト膜125bに所定の回路パターンを形成する（ステップ102、図12（b））。

40

【0095】

次いで、レジスト膜125bをエッチングマスクとしてエッチング処理を行い、ストッパ膜123に達するビア128aを形成する（ステップ103、図12（c））。

【0096】

次いで、オゾンを含むガス、例えばオゾンと水蒸気との混合ガスまたはオゾン単体により、反射防止膜125aおよびレジスト膜125bを水溶性または所定の薬液に溶解可能に変性した後（ステップ104）、純水または所定の薬液により変性された反射防止膜およびレジスト膜を溶解除去し（ステップ105）、図12（d）の状態とする。

【0097】

50

このようにして、反射防止膜 1 2 5 a およびレジスト膜 1 2 5 b を除去する際には、上記例と同様に、Low - k 膜 1 2 4 に形成されたビア 1 2 8 a の側壁がダメージを受け、図 1 2 ( d ) に示すようなダメージ部 1 2 9 a が形成される。そこで、レジスト膜等を除去した後の Low - k 膜 1 2 4 のダメージを回復させるために、上記例と同様に、ウエハ W に対して回復処理としてシリル化処理を行い、ダメージを回復させる ( ステップ 1 0 6 、図 1 2 ( e ) ) 。

【 0 0 9 8 】

次いで、Low - k 膜 1 2 4 の表面に保護膜 ( 犠牲膜 ) 1 3 1 を形成し ( ステップ 1 0 7 ) 、この保護膜 1 3 1 上に反射防止膜 1 3 2 a およびレジスト膜 1 3 2 b を逐次形成し、レジスト膜 1 3 2 b を所定パターンで露光し、現像して、レジスト膜 1 3 2 b に回路パターンを形成する ( ステップ 1 0 8 、図 1 2 ( f ) ) 。なお、保護膜 1 3 1 は S O D 装置 1 0 1 において、所定の薬液をスピコートすることで形成することができる。また、保護膜 1 3 1 は必ずしも必要ではなく、Low - k 膜 1 2 4 上に直接に反射防止膜 1 3 2 a およびレジスト膜 1 3 2 b を形成してもよい。

【 0 0 9 9 】

次いで、レジスト膜 1 3 2 b をエッチングマスクとしてエッチング処理を行うことにより、Low - k 膜 1 2 4 にトレンチ 1 2 8 b を形成する ( ステップ 1 0 9 、図 1 2 ( g ) ) 。

【 0 1 0 0 】

その後、オゾンを含むガス、例えばオゾンと水蒸気との混合ガスまたはオゾン単体により、反射防止膜 1 3 2 a およびレジスト膜 1 3 2 b 、さらには保護膜 1 3 1 を水溶性または所定の薬液に溶解可能に変性した後 ( ステップ 1 1 0 ) 、純水または所定の薬液により変性された反射防止膜およびレジスト膜、さらには保護膜を溶解除去し ( ステップ 1 1 1 ) 、図 1 2 ( h ) の状態とする。

【 0 1 0 1 】

このようにして、反射防止膜 1 3 2 a およびレジスト膜 1 3 2 b 、さらには保護膜 1 3 1 を除去する際には、Low - k 膜 1 2 4 に形成されたトレンチ 1 2 8 b の側壁およびビア 1 2 8 a の側壁がダメージを受け、図 1 2 ( h ) に示すようなダメージ部 1 2 9 b が形成される。そこで、レジスト膜等を除去した後の Low - k 膜 1 2 4 のダメージを回復させるために、上ステップ 1 0 6 と同様に、ウエハ W に対して回復処理としてシリル化処理を行い、ダメージを回復させる ( ステップ 1 1 2 、図 1 2 ( i ) ) 。

【 0 1 0 2 】

このようなシリル化処理が終了したウエハ W は、ストッパ膜 1 2 3 を除去するためのエッチング処理が行われ ( ステップ 1 1 3 、図 1 2 ( j ) ) 、次いで、洗浄処理される ( ステップ 1 1 4 ) 。このようなエッチング処理や洗浄処理によっても、Low - k 膜 1 2 4 がダメージを受ける場合があるが、その場合には、上記と同様にしてシリル化処理を施してもよい。

【 0 1 0 3 】

その後、トレンチ 1 2 8 b およびビア 1 2 8 a の内壁にバリアメタル膜および Cu シード層 ( つまり、メッキシード層 ) を形成し、次いで、電解メッキによりトレンチ 1 2 8 b およびビア 1 2 8 a に配線金属として銅 1 2 6 を埋め込む ( ステップ 1 1 5 、図 1 2 ( k ) ) 。その後、ウエハ W を熱処理することによってビア 1 2 8 a 、トレンチ 1 2 8 b に埋め込まれた銅 1 2 6 のアニール処理を行い ( アニール装置は図 1 に示さず ) 、さらにウエハ W を C M P 装置 1 0 9 へ搬送し、そこで C M P 法による平坦化処理が行われる ( ステップ 1 1 6 ) 。これにより所望の半導体装置が製造される。

【 0 1 0 4 】

このようなデュアルダマシン法により半導体装置を製造する場合にも、シングルダマシン法の場合と同様、オゾンを含む処理ガスによる変性処理および洗浄処理によって、アッシングの場合よりもレジスト膜等の除去の際における Low - k 膜へのダメージを少なくすることができるとともに、シリル化処理によるダメージ回復効果が高く、比誘電率を十

10

20

30

40

50

分に回復させることができ、電気的特性に優れた半導体装置を得ることができる。このため、半導体装置の信頼性を向上させることができる。

#### 【0105】

次に、第1の実施形態の効果を把握した実験結果について説明する。

まず、図13の(a)に示すように、低抵抗のSi基板140上に、Low-k膜141を成膜したサンプルを用意した。そして、未処理のものをリファレンス(サンプル1)とし、オゾンと蒸気で処理したもの(サンプル2)、オゾンと蒸気で処理した後にシリル化処理を行ったもの(サンプル3、4)、オゾンと蒸気で処理した後にアルカリ系薬液(コリン)で処理し、その後シリル化処理を行ったもの(サンプル5)について、図13(b)に示すように、Low-k膜141上にAlスパッタ電極142を形成し、図13(c)に示すように、Alスパッタ電極142とSi基板140との間に電圧を印加し、Low-k膜141の比誘電率およびリーク電流値を測定した。

#### 【0106】

なお、Low-k膜としてはSOD膜またはCVD膜を用い、オゾンと蒸気による処理の条件は、105、75kPaとした。また、シリル化処理の条件については、サンプル3では150(条件1)とし、サンプル4では180(条件2)とし、サンプル5では上記条件1とした。

#### 【0107】

結果を表1に示す。表1に示すように、オゾンと蒸気との処理により比誘電率およびリーク電流値は上昇するが、回復処理としてシリル化処理を行うことにより、ほぼリファレンスと同等の比誘電率およびリーク電流値が得られることが確認された。また、アルカリ系薬液洗浄してからシリル化処理を行ったサンプル5では、比誘電率がさらに低下した。なお、リファレンスであるサンプル1は、表層に若干の変質層が残っているため、比誘電率が材料本来の値よりも多少高い値となっている。

#### 【0108】

##### 【表1】

サンプル No.	条 件	比誘電率 (k 値)	リーク電流値 (A/cm <sup>2</sup> )
1	リファレンス	2.55	$1.9 \times 10^{-10}$
2	オゾン・水蒸気処理	4.51	$9.5 \times 10^{-5}$
3	オゾン・水蒸気処理+シリル化処理(条件1)	2.69	$4.3 \times 10^{-10}$
4	オゾン・水蒸気処理+シリル化処理(条件2)	2.67	$3.7 \times 10^{-10}$
5	オゾン・水蒸気処理+シリル化処理+洗浄処理	2.35	$7.8 \times 10^{-10}$

#### 【0109】

次に、オゾン処理において蒸気の有無の影響を確認した実験を行った。ここでは、図13(a)に示す構造のサンプルを用意し、未処理のものをリファレンス(サンプル6)とし、上記条件1によりオゾンと蒸気による処理を行ったもの(サンプル7)、サンプル7にさらにシリル化処理を行ったもの(サンプル8)、サンプル7の条件から水蒸気のみを除いたもの(サンプル9)、サンプル9にさらにシリル化処理を行ったもの(サンプル10)、比較例としてエッチング後にO<sub>2</sub>アッシングを行ったもの(サンプル11)、サンプル11にさらにシリル化処理をおこなったもの(サンプル12)について、同様にして

、A lスパッタ電極を形成し、L o w - k 膜の比誘電率およびリーク電流値を測定した。なお、L o w - k 膜の材料およびシリル化処理の条件は上述したものと同様とした。

【 0 1 1 0 】

結果を表 2 に示す。表 2 に示すように、蒸気を用いずにオゾンのみで処理した場合もオゾンと蒸気との処理と同じく比誘電率およびリーク電流値は上昇するが、上昇の度合いは蒸気を用いない場合のほうが小さく、蒸気を用いずにオゾンのみを用いたほうがダメージが小さいことが確認された。また、シリル化処理による回復後の比誘電率およびリーク電流値は、ほぼリファレンスと同程度に回復された。一方、エッチング後、O<sub>2</sub>アッシングを行ったものは、シリル化処理による回復の程度がオゾン処理の場合よりも低い結果となった。

【 0 1 1 1 】

【表 2】

サンプル N o .	除去処理条件	シリル化処 理の有無	比誘電率 (k 値)	リーク電流値 (A / c m <sup>2</sup> )
6	リファレンス		2 . 4 5	4 . 8 3 × 1 0 <sup>-9</sup>
7	オゾン+水蒸気	無	3 . 5 5	5 . 0 3 × 1 0 <sup>-7</sup>
8	オゾン+水蒸気	有	2 . 7 9	2 . 0 5 × 1 0 <sup>-9</sup>
9	オゾンのみ	無	3 . 1 9	8 . 2 2 × 1 0 <sup>-8</sup>
1 0	オゾンのみ	有	2 . 7 3	4 . 4 3 × 1 0 <sup>-9</sup>
1 1	エッチング+ O <sub>2</sub> アッシング	無	3 . 4 0	3 . 1 0 × 1 0 <sup>-5</sup>
1 2	エッチング+ O <sub>2</sub> アッシング	有	2 . 9 5	7 . 6 0 × 1 0 <sup>-8</sup>

【 0 1 1 2 】

次に、第 2 の実施形態について説明する。

図 1 4 は本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造プロセスに用いられる半導体装置製造システムの概略構成を示す説明図である。図 1 4 において、図 1 と同じものには同じ符号を付して説明を省略する。この半導体装置製造システムは、第 1 の実施形態と同じ S O D (Spin On Dielectric) 装置 1 0 1 と、レジスト塗布・現像装置 1 0 2 と、露光装置 1 0 3 と、スパッタ装置 1 0 6 と、電解メッキ装置 1 0 7 と、研磨装置としての C M P 装置 1 0 9 とを有し、さらに、ドライエッチング、ドライアッシング、および回復処理を行うエッチング・アッシング・回復処理装置 1 0 8 と、洗浄処理装置 1 0 4 を有する処理部 1 0 0 と、図 1 と同じ構成のメイン制御部 1 1 0 とを備えている。

【 0 1 1 3 】

すなわち、本実施形態の半導体装置製造システムは、図 1 のエッチング装置 1 0 5 および変性・洗浄・回復処理装置 1 0 4 の代わりに、エッチング・アッシング・回復処理装置 1 0 8、洗浄処理装置 1 0 4 を設けた点が第 1 の実施形態の半導体装置製造システムと異なっている。

【 0 1 1 4 】

洗浄処理装置 1 0 4 は、図 7 に示す洗浄処理ユニットと加熱機構および搬送系からなるものであり、ウエハ W に対して洗浄処理を行うものである。

【 0 1 1 5 】

エッチング・アッシング・回復処理装置 1 0 8 は、以下に説明するように、層間絶縁膜 (L o w - k 膜) に所定のパターンのピアまたはトレンチを形成するためのドライエッチ

ング、レジスト膜を除去するためのドライアッシング、および層間絶縁膜のダメージを回復させる回復処理を行うものであり、これらを真空中におけるドライプロセスにより連続的に行うものである。

#### 【0116】

図15は、このようなエッチング・アッシング・回復処理装置108の概略構造を示す平面図である。エッチング・アッシング・回復処理装置108は、ドライエッチング（プラズマエッチング）を行うためのエッチングユニット151、152と、ドライアッシング（プラズマアッシング）を行うためのアッシングユニット153と、シリル化处理ユニット（SCH）154を備えており、これらの各ユニット151～154は六角形をなすウエハ搬送室155の4つの辺にそれぞれ対応して設けられている。また、ウエハ搬送室155の他の2つの辺にはそれぞれロードロック室156、157が設けられている。これらロードロック室156、157のウエハ搬送室155と反対側にはウエハ搬入出室158が設けられており、ウエハ搬入出室158のロードロック室156、157と反対側にはウエハWを収容可能な3つのキャリアCを取り付けるポート159、160、161が設けられている。

10

#### 【0117】

エッチングユニット151、152、アッシングユニット153およびシリル化处理ユニット（SCH）154およびロードロック室156、157は、同図に示すように、ウエハ搬送室155の各辺にゲートバルブGを介して接続され、これら是对應するゲートバルブGを開放することによりウエハ搬送室155と連通され、対応するゲートバルブGを閉じることによりウエハ搬送室155から遮断される。また、ロードロック室156、157のウエハ搬入出室158に接続される部分にもゲートバルブGが設けられており、ロードロック室156、157は、対応するゲートバルブGを開放することによりウエハ搬入出室158に連通され、対応するゲートバルブGを閉じることによりウエハ搬入出室158から遮断される。

20

#### 【0118】

ウエハ搬送室155内には、エッチングユニット151、152、アッシングユニット153、シリル化处理ユニット（SCH）154、ロードロック室156、157に対して、ウエハWの搬入出を行うウエハ搬送装置162が設けられている。このウエハ搬送装置162は、ウエハ搬送室155の略中央に配設されており、回転および伸縮可能な回転・伸縮部163の先端にウエハWを保持する2つのブレード164a、164bを有しており、これら2つのブレード164a、164bは互いに反対方向を向くように回転・伸縮部163に取り付けられている。なお、このウエハ搬送室155内は所定の真空度に保持されるようになっている。

30

#### 【0119】

ウエハ搬入出室158の天井部には図示しないHEPAフィルタが設けられており、このHEPAフィルタを通過した清浄な空気がウエハ搬入出室158内にダウフロー状態で供給され、大気圧の清浄空気雰囲気中でウエハWの搬入出が行われるようになっている。ウエハ搬入出室158のキャリアC取り付け用の3つのポート159、160、161にはそれぞれ図示しないシャッタが設けられており、これらポート159、160、161にウエハWを収容したまたは空のキャリアCが直接取り付けられ、取り付けられた際にシャッタが外れて外気の侵入を防止しつつウエハ搬入出室158と連通するようになっている。また、ウエハ搬入出室158の側面にはアライメントチャンバ165が設けられており、そこでウエハWのアライメントが行われる。

40

#### 【0120】

ウエハ搬入出室158内には、キャリアCに対するウエハWの搬入出およびロードロック室156、157に対するウエハWの搬入出を行うウエハ搬送装置166が設けられている。このウエハ搬送装置166は、多関節アーム構造を有しており、キャリアCの配列方向に沿ってレール168上を走行可能となっており、その先端のハンド167上にウエハWを載せてその搬送を行う。ウエハ搬送装置162、166の動作等、システム全体の

50

制御は制御部 1 6 9 によって行われる。

【 0 1 2 1 】

次に、各ユニットについて説明する。

まず、アッシングユニット 1 5 3 について説明する。なお、エッチングユニット 1 5 1 , 1 5 2 は、処理ガスが異なるだけで概略構造がアッシングユニットと同様であるため、説明を省略する。

【 0 1 2 2 】

図 1 6 に概略構成を示すように、このアッシングユニット 1 5 3 は、プラズマアッシングを行うものであり、略円筒状に形成された処理チャンバ 2 1 1 を具備し、その底部には、絶縁板 2 1 3 を介して、サセプタ支持台 2 1 4 が配置され、その上に、サセプタ 2 1 5 が配置されている。サセプタ 2 1 5 は下部電極を兼ねたものであり、その上面に静電チャック 2 2 0 を介してウエハ W が載置されるようになっている。符号 2 1 6 はハイパスフィルタ ( H P F ) である。

10

【 0 1 2 3 】

サセプタ支持台 2 1 4 の内部には温度調節媒体が循環する温度調節媒体室 2 1 7 が設けられ、これによりサセプタ 2 1 5 が所望の温度に調整される。温度調節媒体室 2 1 7 には導入管 2 1 8 および排出管 2 1 9 が接続されている。

【 0 1 2 4 】

静電チャック 2 2 0 は絶縁材 2 2 1 の間に電極 2 2 2 が配置された構造となっており、電極 2 2 2 に直流電源 2 2 3 から直流電圧が印加されることによって、ウエハ W が静電チャック 2 2 0 上に静電吸着される。ウエハ W の裏面にはガス通路 2 2 4 を介して H e ガスからなる伝熱ガスが供給され、その伝熱ガスを介してウエハ W が所定温度に温度調節される。サセプタ 2 1 5 の上端周縁部には、静電チャック 2 2 0 上に載置されたウエハ W の周囲を囲むように、環状のフォーカスリング 2 2 5 が配置されている。

20

【 0 1 2 5 】

サセプタ 2 1 5 の上方には、サセプタ 2 1 5 と対向して、絶縁材 2 3 2 を介してプラズマ処理チャンバ 2 1 1 の内部に支持された状態で上部電極 2 3 1 が設けられている。上部電極 2 3 1 は、多数の吐出口 2 3 3 を有する電極板 2 3 4 と、この電極板 2 3 4 を支持する電極支持体 2 3 5 とから構成されており、シャワー状をなしている。

【 0 1 2 6 】

電極支持体 2 3 5 の中央には、ガス導入口 2 3 6 が設けられ、そこにガス供給管 2 3 7 が接続されている。ガス供給管 2 3 7 は、バルブ 2 3 8 およびマスフローコントローラ 2 3 9 を介して、アッシングのための処理ガスを供給する処理ガス供給源 2 4 0 に接続されている。処理ガス供給源 2 4 0 からは、アッシングガスとして、例えば、O<sub>2</sub> ガス、NH<sub>3</sub> ガス、CO<sub>2</sub> ガス等が処理チャンバ 2 1 1 内に供給される。

30

【 0 1 2 7 】

処理チャンバ 2 1 1 の底部には、排気管 2 4 1 が接続され、この排気管 2 4 1 には排気装置 2 4 5 が接続されている。排気装置 2 4 5 はターボ分子ポンプ等の真空ポンプを備えており、処理チャンバ 2 1 1 内を所定の減圧雰囲気の設定可能となっている。処理チャンバ 2 1 1 の側壁部分には、ゲートバルブ 2 4 2 が設けられている。

40

【 0 1 2 8 】

上部電極 2 3 1 には、第 1 の整合器 2 5 1 を介してプラズマ生成用の高周波電力を供給する第 1 の高周波電源 2 5 0 が接続されている。また、上部電極 2 3 1 にはローパスフィルタ ( L P F ) 2 5 2 が接続されている。下部電極としてのサセプタ 2 1 5 には、第 2 の整合器 2 6 1 を介してプラズマ中のイオンを引き込んでアッシングを進行させるための第 2 の高周波電源 2 6 0 が接続されている。

【 0 1 2 9 】

このように構成されるアッシングユニット 1 5 3 では、処理ガス供給源 2 4 0 から所定のアッシングガスがチャンバ 2 1 1 内に導入され、第 1 の高周波電源 2 5 0 からの高周波電力によりプラズマ化され、このプラズマにより、ウエハ W のレジスト膜等を灰化して除

50



去する。

【 0 1 3 0 】

次に、シリル化処理ユニット（SCH）154について、図17に示す概略断面図を参照しながら詳細に説明する。シリル化処理ユニット（SCH）154は、ウエハWを収容するチャンバ301を備えており、チャンバ301の下部にはウエハ載置台302が設けられている。ウエハ載置台302には、ヒータ303が埋設されており、その上に載置されたウエハWを所望の温度に加熱可能となっている。ウエハ載置台302には、ウエハリフトピン304が突没可能に設けられており、ウエハWの搬入出の際等にウエハWをウエハ載置台302から上方へ離隔した所定位置に位置させることが可能となっている。

【 0 1 3 1 】

チャンバ301内には、ウエハWを含む狭い処理空間Sを区画するように内部容器305が設けられており、この処理空間Sにシリル化剤（シリル化ガス）が供給されるようになっている。この内部容器305の中央には鉛直に延びるガス導入路306が形成されている。

【 0 1 3 2 】

このガス導入路306の上部にはガス供給配管307が接続されており、このガス供給配管307には、DMSDMA（Dimethylsilyldimethylamine）等のシリル化剤を供給するシリル化剤供給源308から延びる配管309と、ArやN<sub>2</sub>ガス等からなるキャリアガスを供給するキャリアガス供給源310から延びる配管311が接続されている。配管309には、シリル化剤供給源308側から順に、シリル化剤を気化させる気化器312、マスフローコントローラ313および開閉バルブ314が設けられている。一方、配管311にはマスフローコントローラ315および開閉バルブ316がキャリアガス供給源310側から順に設けられている。そして、気化器312により気化されたシリル化剤がキャリアガスにキャリアされてガス供給配管307およびガス導入路306を通して、内部容器305に圍繞された処理空間S内に導入される。処理の際にはヒータ303により、ウエハWが所定温度に加熱される。この場合に、ウエハ温度は、例えば室温～300まで制御可能となっている。

【 0 1 3 3 】

チャンバ301外の大気雰囲気からチャンバ301内の内部容器305内に延びるように大気導入配管317が設けられている。この大気導入配管317にはバルブ318が設けられており、バルブ318を開くことにより大気がチャンバ301内の内部容器305に圍繞された処理空間Sに導入されるようになっている。これにより、ウエハWに所定の水分が供給される。

【 0 1 3 4 】

チャンバ301の側壁には、ゲートバルブ319が設けられており、このゲートバルブ319を開にすることによりウエハWの搬入出がなされる。チャンバ301の底部の周縁部には、排気管320が設けられており、図示しない真空ポンプにより排気管320を介してチャンバ301内を排気して、例えば10 Torr（266 Pa）以下に制御することが可能となっている。排気管320には、コールドトラップ321が設けられている。また、ウエハ載置台302の上部のチャンバ壁との間の部分にはバッフルプレート322が設けられている。

【 0 1 3 5 】

エッチング・アッシング・回復処理装置108は、エッチング、アッシング、回復処理を連続して真空雰囲気内で行うことから、そのままではウエハWの存在空間には水分がほとんど存在しないため、シリル化処理ユニット（SCH）153において上述のシリル化反応が生じ難く、十分な回復効果を得難くなるおそれがある。そこで、後で詳細に説明するように、制御部169により、シリル化剤の導入に先立って、大気導入配管317のバルブ318を開にして大気を導入してウエハWに水分を吸着させ、その後、ヒータ303によりウエハ載置台302上のウエハWを加熱して水分調整を行ってからシリル化剤を導入するように制御する。この際の加熱温度は50～200が好適である。また、シリル

10

20

30

40

50

化反応を促進する観点から、シリル化剤を導入開始後にもウエハWを加熱するように制御してもよい。

【0136】

次に、上記図14の半導体装置製造システムを用いたシングルダマシン法による半導体装置の製造プロセスについて説明する。図18はこのような製造プロセスを示すフローチャート、図19は図18のフローを示す工程断面図である。この際の半導体装置を製造する際の膜の構成は図9と同じなので、同じ膜には同じ符号を付して説明する。

【0137】

まず、Si基板（図示せず）上に絶縁膜120が形成され、その中の上部にバリアメタル層121を介して下部銅配線122が形成され、絶縁膜120および下部銅配線122の上にストッパ層（例えばSiN膜やSiC膜）123が形成されているウエハを準備し、このウエハWをSOD装置101に搬入して、そこでストッパ膜123上に低誘電率材料（Low-k材料）からなる層間絶縁膜（以下、Low-k膜と記す）124を形成する（ステップ201）。これにより、図19（a）の状態が形成される。

【0138】

次いで、Low-k膜124が形成されたウエハWを、レジスト塗布・現像装置102に搬入し、そこでLow-k膜124上に反射防止膜125aとレジスト膜125bを逐次形成し、引き続き、ウエハWを露光装置103に搬送して、そこで所定のパターンで露光処理し、さらに、ウエハWをレジスト塗布・現像装置102に戻して、現像処理ユニットにおいてレジスト膜125bを現像処理することによって、レジスト膜125bに所定の回路パターンを形成する（ステップ202）。これにより、図19（b）の状態が形成される。

【0139】

次いで、ウエハWをエッチング・アッシング・回復処理装置108に搬送して、そこで真空中のドライプロセスによりエッチング、アッシング、回復処理を連続して行う。具体的には、まず、ウエハWをエッチングユニット151に搬送して、プラズマエッチングを行う（ステップ203）。これによりストッパ膜123に達するビア128aがLow-k膜124に形成される（図19（c））。

【0140】

エッチング処理が終了したウエハWは、アッシングユニット153に搬送され、反射防止膜125aおよびレジスト膜125bがプラズマアッシング処理により除去される（ステップ204、図19（d））。

【0141】

このようにして、反射防止膜125aおよびレジスト膜125bをプラズマアッシングにより除去する際には、第1の実施形態の場合と同様、Low-k膜124に形成されたビア128aの側壁がダメージを受け、図19（d）に示すようなダメージ部129aが形成される。

【0142】

そこで、レジスト膜等を除去した後のLow-k膜124のダメージを回復させるために、ウエハWをシリル化処理ユニット（SCH）154に搬入してシリル化処理を行うが、この場合に、プラズマアッシング処理の後には、Low-k膜124が受けるダメージは上記のオゾン含有ガスによる変性処理に比べて大きいため、回復処理をより効果的に行う必要がある。しかしながら、エッチング・アッシング・回復処理装置108は、真空中での連続処理でエッチング、アッシング、回復処理を行うこととなるため、装置内にはほとんど水分が存在せず、このままではシリル化反応が生じ難く、効果的な回復処理を行うことが困難である。

【0143】

このため、本実施形態では、ウエハWをシリル化処理ユニット（SCH）154に搬入後、シリル化処理に先立ってウエハWに水分を供給するために、バルブ318を開いて大気導入配管317から大気を導入する（ステップ205）。

## 【 0 1 4 4 】

このように大気を導入することにより、ウエハWに水分が供給されるが、ウエハWに残存している水分が多すぎる状態でシリル化剤を導入すると、シリル化剤と $H_2O$ とが反応してパーティクルが発生して処理不良となるおそれがある。このため、大気導入後、シリル化剤導入に先立って加熱処理（プリベーク）を行い、水分量を調整する（ステップ206）。このとき、プリベークの温度が高すぎると、上述したように、レジスト除去等によりダメージを受けたLow-k膜で以下の脱水縮合が起こり、その後にシリル化ガスを導入してもシリル化反応が阻害される。また、上述したように、ウエハWの温度が高すぎるとシリル化剤（シリル化ガス）を導入した際にウエハ表面近傍のみで反応が進むのに対し、適度な温度でウエハWを加熱することにより、ポーラスLow-k膜の場合に、Low-k膜の細孔にシリル化剤が入り込んで膜内部においてシリル化反応が発生するようになるため、ダメージ回復がより促進されることとなる。以上からプリベークは50～200で行うことが好ましい。

10

## 【 0 1 4 5 】

このような処理後、シリル化剤を導入してシリル化処理を行う（ステップ207、図19（e））。このようにウエハWの水分が調整された後にシリル化処理を行うことにより、Low-k膜124のダメージの回復が促進され、レジスト膜125b等の除去に際してプラズマアッシングのようなダメージの大きい処理を行った後でもLow-k膜124の比誘電率をイニシャルに近い値まで回復させることができる。

20

## 【 0 1 4 6 】

シリル化処理は、シリル化処理ユニット（SCH）154において、まず、ゲートバルブ319を開いてチャンバ301内にウエハWを導入し、ウエハ載置台302に載置し、チャンバ301内を所定の圧力に減圧にした状態で、気化器で気化された状態のシリル化剤をキャリアガスでキャリアさせてウエハWに供給することにより行われる。シリル化処理ユニット（SCH）154でのシリル化処理についても、シリル化剤（シリル化ガス）の種類に応じて選択すればよく、例えば気化器312の温度は室温～200、シリル化剤流量は700sccm（mL/min）以下、処理圧力は10mTorr～100Torr（1.33～13330Pa）、載置台302の温度は室温～200などの範囲から適宜設定することができる。

30

## 【 0 1 4 7 】

シリル化剤を導入開始後も、反応を促進する観点から、ヒータ303によりウエハWを加熱することが好ましい。この際に、適度な反応促進効果を発揮させるためにはウエハ温度は50～200が好ましい。

## 【 0 1 4 8 】

この場合に、シリル化剤導入前の加熱の温度よりもシリル化剤導入後の加熱の温度が高いほうが好ましい。このような2段階の加熱を実現するためには、ヒータ303によりウエハ載置台302をシリル化剤導入開始後の温度に対応する第2の温度に加熱しておき、図20（a）に示すようにリフトピン304を上昇させた状態としてウエハWをウエハ載置台302から離隔させてウエハWの温度を、第2の温度よりも低い第1の温度にし、この状態で図20（b）に示すように、シリル化剤の供給を開始し、その後、図20（c）に示すように、リフトピン304を降下させてウエハWをウエハ載置台302に載置させ第2の温度に昇温させる方法を採用することができる。また、上述したように、加熱手段としてランプを設け、ウエハを載置台に載せた状態で第1の温度で加熱してプリベークを行い、シリル化剤の供給開始後、ランプの出力を上げてウエハを第2の温度まで加熱する方法を採用することもできる。

40

## 【 0 1 4 9 】

このようなシリル化処理が終了したウエハWは、エッチングユニット152に搬送され、そこでストッパ膜123を除去するためのエッチング処理が行われる（ステップ208、図19（f））。次いで、ウエハWは洗浄処理装置104へ搬送され、洗浄処理される（ステップ209）。このようなエッチング処理や洗浄処理によっても、Low-k膜

50

１２４がダメージを受ける場合があるが、その場合には、上記と同様にしてシリル化処理を施してもよい。

#### 【０１５０】

その後、上記実施形態と同様、ウエハＷをスパッタ装置１０６へ搬送して、そこでビア１２８ａの内壁にバリアメタル膜およびＣｕシード層を形成し、次いで、ウエハＷを電解メッキ装置１０７に搬送して、そこで電解メッキによりビア１２８ａに配線金属として銅１２６を埋め込む（ステップ２１０、図１９（ｇ））。その後、ウエハＷを熱処理することによってビア１２８ａに埋め込まれた銅１２６のアニール処理を行い（アニール装置は図１に示さず）、さらにウエハＷをＣＭＰ装置１０９へ搬送し、そこでＣＭＰ法による平坦化処理が行われる（ステップ２１１）。これにより所望の半導体装置が製造される。

10

#### 【０１５１】

このようにして半導体装置を製造することにより、回復処理を効果的に行うことができ、アッシング処理のようなダメージの大きい処理によってレジスト膜等を除去した場合であっても、比誘電率を十分に回復させることができ、電気的特性に優れた半導体装置を得ることができる。このため、半導体装置の信頼性を向上させることができる。なお、デュアルダマシン法による半導体装置の製造に関しては、図１８，１９の手順に準じて行うことができる。

#### 【０１５２】

次に、第２の実施形態の効果を把握した実験結果について説明する。

上述した図１３（ａ）に示すようなサンプルを用意し、成膜したままのもの（サンプル２１）、エッチングプロセス条件に暴露し、次いでレジスト膜除去処理としてのアッシング条件に暴露したもの（サンプル２２）、さらに大気導入およびプリヒートを行った後シリル化剤を供給してシリル化処理を行ったもの（サンプル２３）、プリヒート後さらにシリル化剤導入開始後に加熱処理を行ったもの（サンプル２４）について、上述した図１３（ｂ）に示すようなＡｌスパッタ電極１４２を形成し、Ａｌスパッタ電極１４２とＳｉ基板１４０との間に電圧を印加し、Ｌｏｗ－ｋ膜１４１の比誘電率を測定した。

20

#### 【０１５３】

なお、Ｌｏｗ－ｋ膜としてはＳＯＤ膜を用いた。また、エッチングプロセスにはＣＦ<sub>4</sub>/Ａｒガス系を用い、アッシングプロセスには、Ｏ<sub>2</sub>ガス系を用いた。プリヒート温度は約１００とし、シリル化剤導入開始後の加熱温度は１５０とした。

30

#### 【０１５４】

結果を表３に示す。表３に示すように、エッチングプロセス暴露およびアッシングプロセス暴露後、比誘電率が成膜ままの状態から上昇するが、大気導入およびプリヒートを行った後に回復処理を行ったサンプル２３については、比誘電率が５０％回復し、さらにシリル化剤導入開始後に加熱を行ったサンプル２４については、比誘電率が８０％回復した。

#### 【０１５５】

#### 【表３】

サンプル No.	処理条件	比誘電率	回復率 (%)
２１	Ｌｏｗ－ｋ膜成膜後	２．４０	－
２２	アッシング後	２．６６	－
２３	プリヒート＋シリル化処理	２．５３	５０．０
２４	プリヒート＋シリル化処理 ＋ガス導入開始後の加熱	２．４５	８０．８

40

50

## 【 0 1 5 6 】

上記第2の実施形態では、 $O_2$  ガス系のプラズマを用いたアッシング処理によってレジスト膜を灰化して除去したが、主にプラズマ中の酸素ラジカルを用いてレジスト膜を除去することもできる。

## 【 0 1 5 7 】

通常のアッシング処理では、第2の高周波電源260によってプラズマ中の酸素イオンを引き込むことでアッシングを促進している。この場合、酸素イオンがLow-k膜へダメージを与え、Low-k膜表面が緻密な構造へ変化することもある。Low-k膜が緻密であると、ダメージ回復処理のためのシリル化剤がLow-k膜の内部まで侵入することができずに、ダメージ回復の程度が限定されてしまう。

10

## 【 0 1 5 8 】

これに対し、同様のプロセス条件において、第2の高周波電源260による高周波の印加をしない場合には、プラズマ中の酸素ラジカルによるレジスト膜への作用が支配的となり、酸素イオンによるLow-k膜へのダメージを低減し、Low-k膜表面の構造が緻密になるのを抑制することができる。一方、Low-k膜が緻密にならない分、Low-k膜内部への酸素ラジカルの影響が大きく、深い部分でのダメージが大きくなる可能性がある。しかし、シリル化剤がLow-k膜内部の深い部分にまで侵入することができるので、ダメージの回復は可能である。

## 【 0 1 5 9 】

表4は、酸素ラジカルを用いてレジスト膜を除去した場合の実験結果である。表4中サンプルNo. 31はリファレンスである。サンプルNo. 32はリファレンスに対してアッシング処理を行ったものである。その際の条件は、アッシング処理の際に第2の高周波電源260による高周波の印加をしない点を除いては、表3に示したサンプルNo. 21と同様である。また、サンプルNo. 33はアッシング処理の後シリル化剤による回復処理を行ったもの、No. 34は、酸素ラジカルによるレジスト膜除去処理の後、洗浄処理を行ってからシリル化剤による回復処理を行ったものである。

20

## 【 0 1 6 0 】

表4に示すように、酸素ラジカルでレジスト膜を除去した段階では比誘電率は上昇するが、シリル化剤による回復処理を行うことによって比誘電率は大幅に回復される。また、レジスト除去後、洗浄処理を行ってからシリル化剤による回復処理を行うことにより、リファレンスのサンプルNo. 31と略同等にまで比誘電率が回復されている。これは、洗浄処理を経ることによって、シリル化反応に必要な水分が供給されて回復処理が促進されたためと考えられる。また、上述したアッシング処理の際に生じる可能性のあるLow-k膜表面の緻密な層は、エッチングの際にも生じる可能性があり、洗浄処理を行うことでこの緻密な構造の層が除去されて回復処理が促進されたとも考えられる。

30

## 【 0 1 6 1 】

## 【表4】

サンプル No.	処理条件	比誘電率	回復率 (%)
31	リファレンス	2.45	—
32	酸素ラジカルによるレジスト膜除去	3.35	—
33	酸素ラジカルによるレジスト膜除去 +シリル化処理	2.69	74
34	酸素ラジカルによるレジスト膜除去 +洗浄処理+シリル化処理	2.54	97

40

50

## 【 0 1 6 2 】

なお、酸素ラジカルを用いたレジスト膜除去を行った場合にも、上述した $O_2$ ガス系のプラズマを用いたアッシング処理の実施形態と同様、シリル化処理に先立ってチャンバ301内に大気を導入し、プリベークを行ってシリル化反応を促進するための水分量を調節することができる。また、シリル化剤が導入された後にウエハをプリベーク温度よりも高い温度に加熱して、シリル化反応を促進することができる。

## 【 0 1 6 3 】

なお、第2の実施形態において、アッシングユニット153として示した図16の装置は、エッチング処理、アッシング処理、回復処理のうちいずれか2つ、またはこれら全部を行う装置として機能させることができる。すなわち、処理ガス供給源240としてエッチング処理用のガスおよびアッシング処理用のガスを供給可能なものを用いれば、最初にエッチング処理用のガスによりエッチングを行い、次いでアッシング処理用のガスに切り替えてアッシング処理を行うようにすることができる。また、処理ガス供給源240としてエッチング処理用のガス、アッシング処理用のガス、およびシリル化剤を供給可能なものを用いれば、最初にエッチング処理用のガスによりエッチングを行い、次いでアッシング処理用のガスに切り替えてアッシング処理を行い、さらにシリル化剤に切り替えてシリル化処理を行うようにすることができる。ただし、シリル化処理を行う場合には、ウエハWに対して水分を供給する手段を設ける必要がある。

## 【 0 1 6 4 】

また、上記エッチング・アッシング・回復処理装置108において、シリル化処理に先立って、シリル化処理ユニット(SCH)154に大気を導入するようにしたが、他のユニット、例えばウエハ搬送室155に大気を導入してウエハに水分を供給するようにしてもよい。さらに、水分を供給する手段として、大気以外のもの、例えば精製した水蒸気を供給するように構成してもよい。

## 【 0 1 6 5 】

なお、本発明は上記実施形態に限定されることなく種々変形可能である。例えば、回復処理としてシリル化処理について示したが他の回復ガスによる回復処理であってもよい。また、本発明に適用される被エッチング膜としては、上述のようにLow-k膜が好適であり、Low-k膜としては、SOD装置で形成されるポーラスMSQ(Porous methyl-hydrogen-Silsesquioxane)の他、CVDで形成される無機絶縁膜の1つであるSiOC系膜(従来の $SiO_2$ 膜のSi-O結合にメチル基( $-CH_3$ )を導入して、Si-CH<sub>3</sub>結合を混合させたもので、Black Diamond(Applied Materials社)、Coral(Novellus社)、Aurora(ASM社)等がこれに該当し、緻密質のものおよびポーラス(多孔質)なものの両方存在する)等を適用可能であるが、Low-k膜に限るものではない。

## 【 0 1 6 6 】

さらに、上記実施形態ではシングルダマシン法、デュアルダマシン法による銅配線を含む半導体装置の製造プロセスに本発明を適用した例について示したが、これに限らず、被エッチング膜の上のエッチングマスクを除去する工程が存在する半導体装置の製造プロセス全般に適用可能である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 1 6 7 】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の製造プロセスに用いられる半導体装置製造システムの概略構成を示す説明図。

【図2】図1の半導体装置製造システムに用いられる変性・洗浄・回復処理装置の概略構造を示す平面図。

【図3】図2の変性・洗浄・回復処理装置の概略構造を示す正面図。

【図4】図2の変性・洗浄・回復処理装置の概略構造を示す背面図。

【図5】変性・洗浄・回復処理装置に搭載された変性処理ユニットを示す概略断面図。

【図6】変性・洗浄・回復処理装置に搭載されたシリル化ユニットを示す概略断面図。

【図7】変性・洗浄・回復処理装置に搭載された洗浄ユニットを示す概略断面図。

10

20

30

40

50

【図 8】図 1 の半導体装置製造システムを用いたシングルダマシン法による半導体装置の製造プロセスの一例を示すフローチャート。

【図 9】図 8 に示すフローの工程断面図。

【図 10】Low - k 膜のダメージおよびシリル化による回復のメカニズムを説明するための図。

【図 11】図 1 の半導体装置製造システムを用いたデュアルダマシン法による半導体装置の製造プロセスの一例を示すフローチャート。

【図 12】図 11 に示すフローの工程断面図。

【図 13】第 1 の実施形態の効果を確認するためのサンプルを示す断面図。

【図 14】本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造プロセスに用いられる半導体装置製造システムの概略構成を示す説明図。

10

【図 15】図 14 の半導体装置製造システムに用いられるエッチング・アッシング・回復処理装置の概略構成を示す平面図。

【図 16】エッチング・アッシング・回復処理装置に搭載されたアッシングユニットを示す概略断面図。

【図 17】エッチング・アッシング・回復処理装置に搭載されたシリル化処理ユニットを示す概略断面図。

【図 18】図 14 の半導体装置製造システムを用いたシングルダマシン法による半導体装置の製造プロセスの一例を示すフローチャート。

【図 19】図 18 に示すフローの工程断面図。

20

【図 20】シリル化処理の際にプリヒートおよびシリル化剤導入開始後の加熱を連続して行う方法を説明するための図。

【図 21】従来のデュアルダマシン法による半導体装置の製造工程を示す工程断面図。

【符号の説明】

【0168】

11a・11b；シリル化処理ユニット（SCH）

12a～12d；洗浄ユニット（CNU）

15a～15f；変性処理ユニット（VOS）

100，100；処理部

101；SOD装置

30

102；レジスト塗布／現像装置

103；露光装置

104；変性・洗浄・回復処理装置

105；エッチング装置

106；スパッタ装置

107；電解メッキ装置

108；エッチング・アッシング・回復処理装置

109；CMP装置

110；メイン制御部

111；プロセスコントローラ

40

112；ユーザーインターフェース

113；記憶部

120；絶縁膜

122；下部配線

123；ストッパ膜

124；層間絶縁膜

125a；反射防止膜

125b；レジスト膜

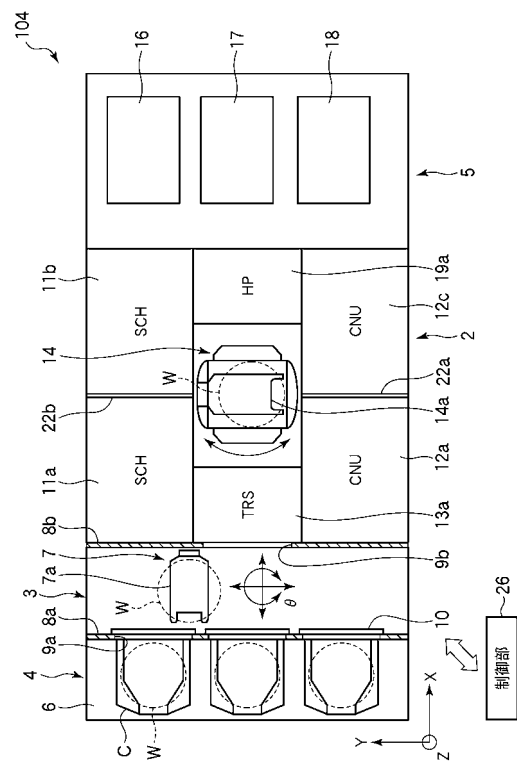
128a；ビア

128b；トレンチ

50

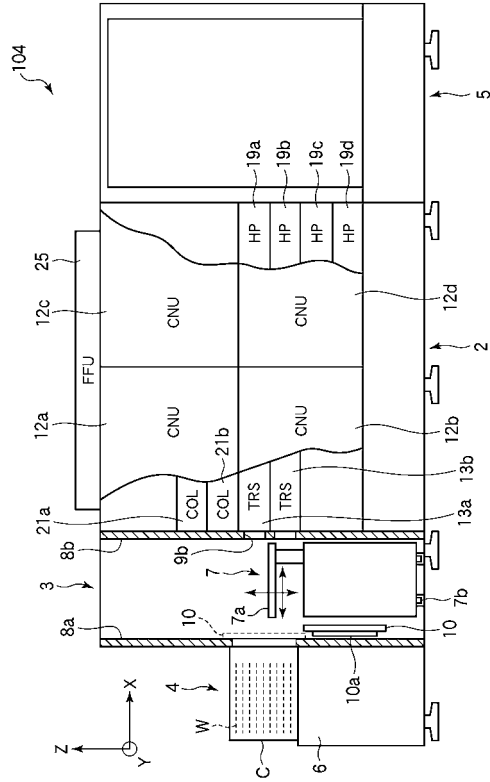
W ; ウエハ ( 基板 )

【 図 2 】

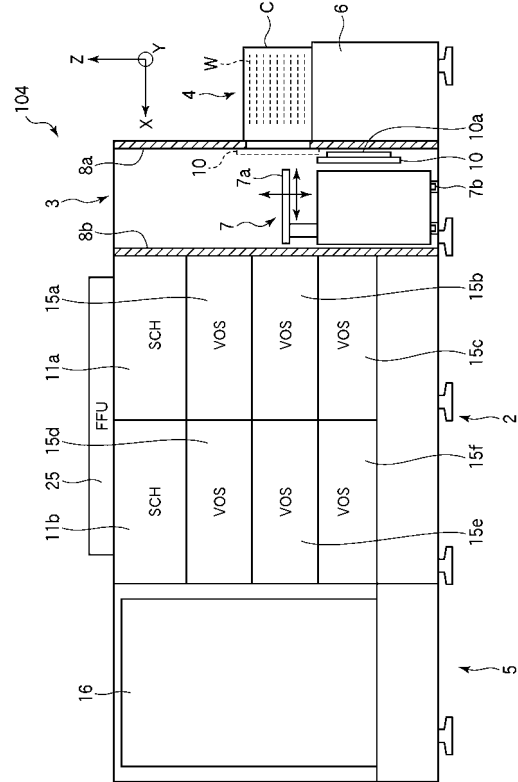




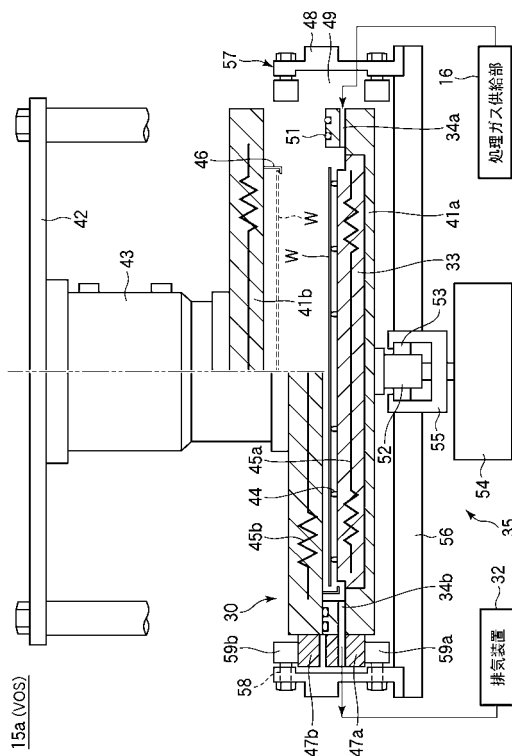
【 図 3 】



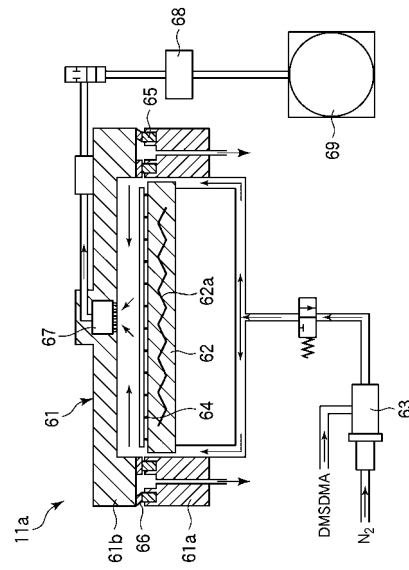
【 図 4 】



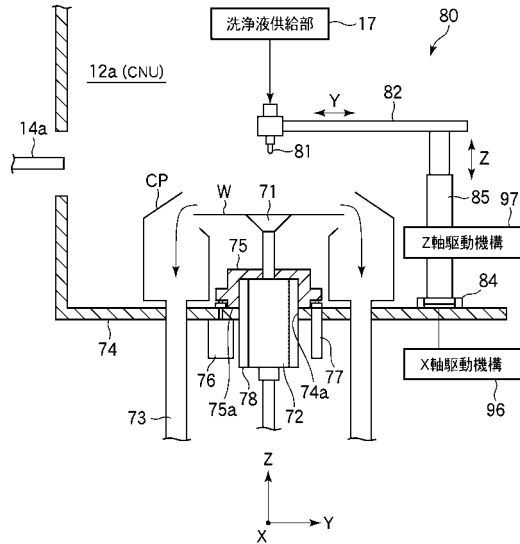
【 図 5 】



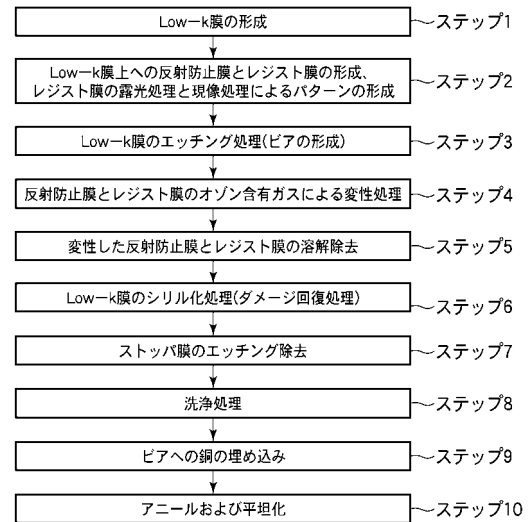
【 図 6 】



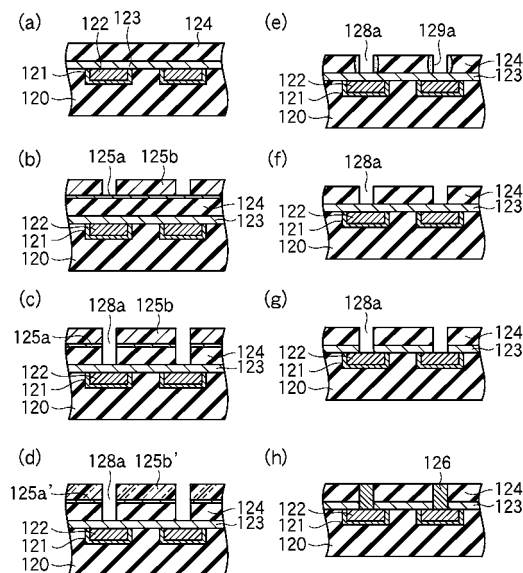
【図 7】



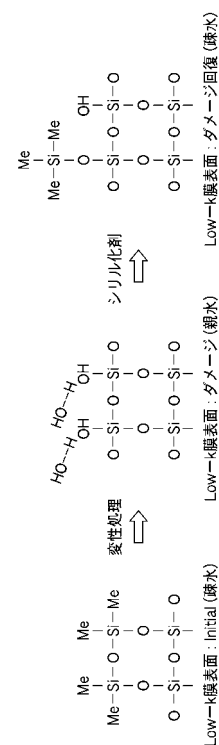
【図 8】



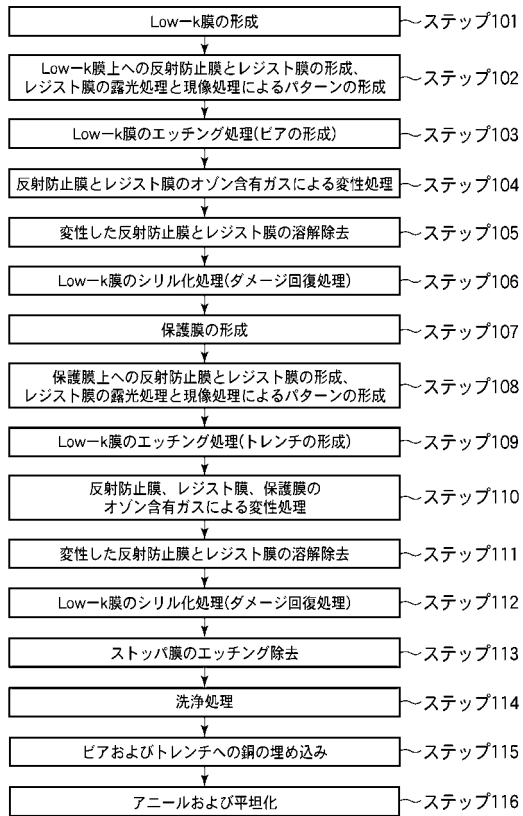
【図 9】



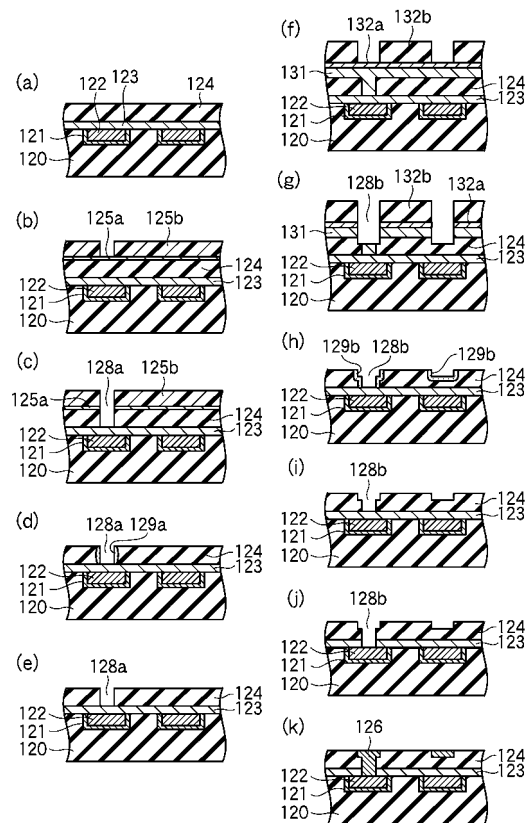
【図 10】



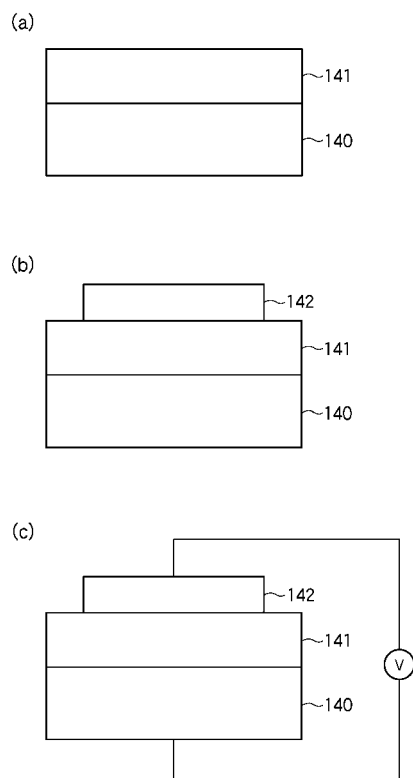
【図 1 1】



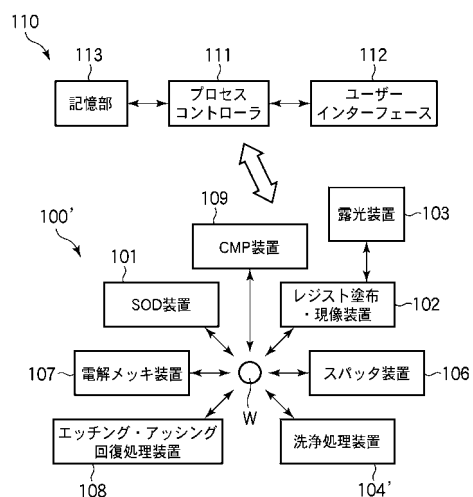
【図 1 2】



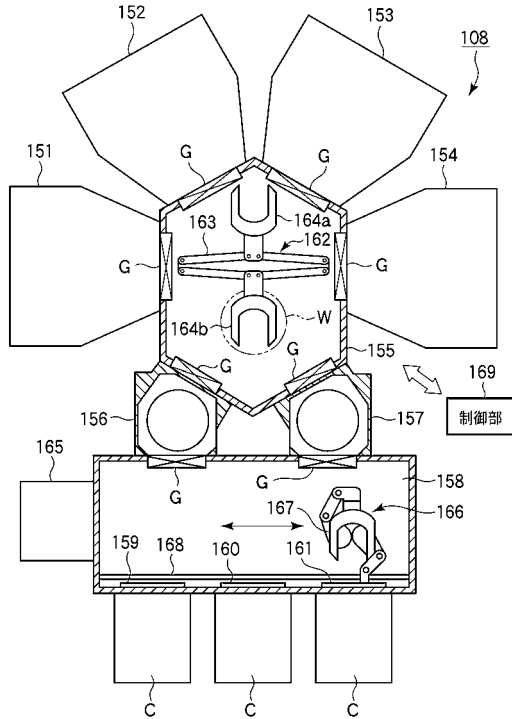
【図 1 3】



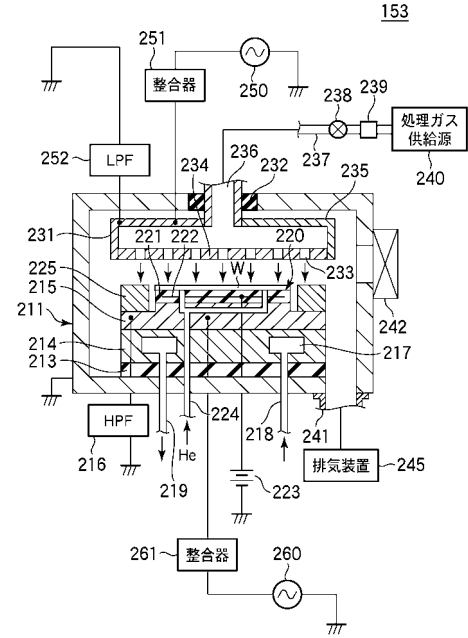
【図 1 4】



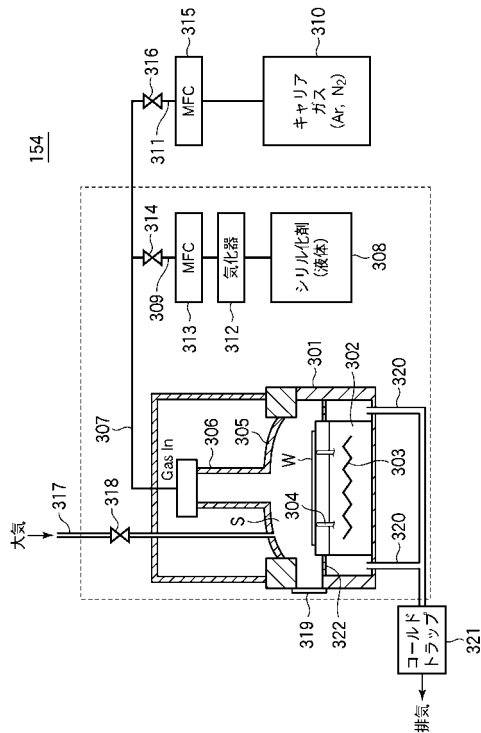
【図 15】



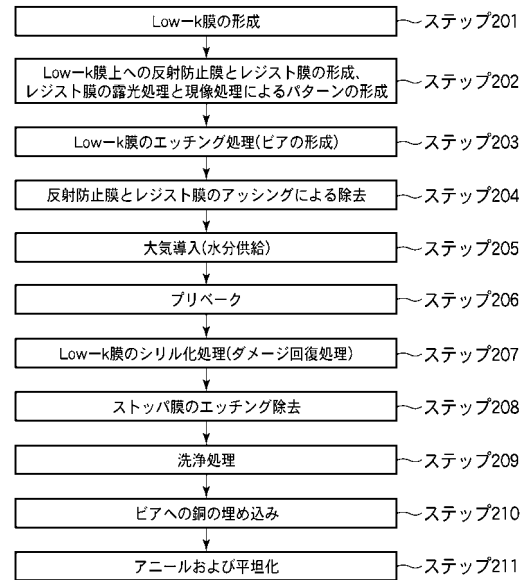
【図 16】



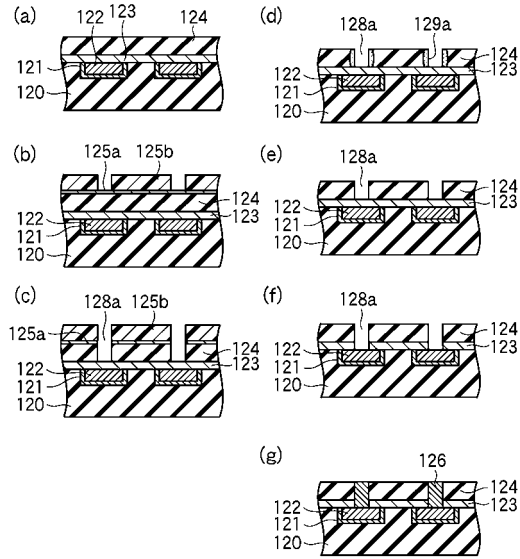
【図 17】



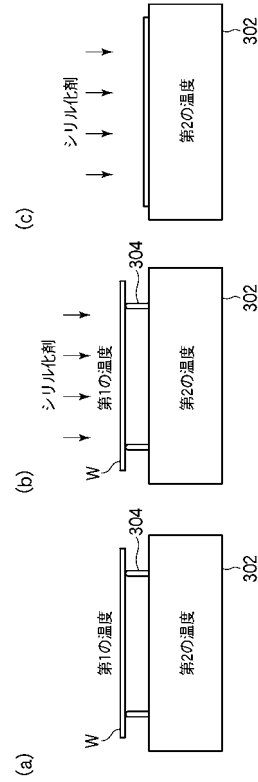
【図 18】



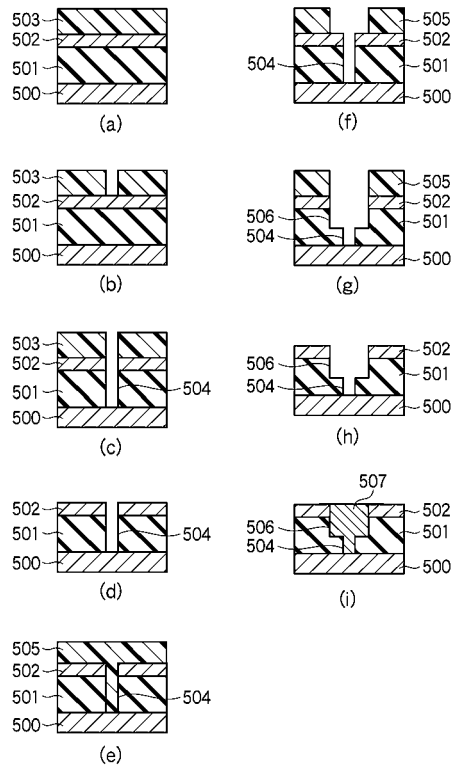
【図 19】



【図 20】



【図 21】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 1 L 21/304 6 4 5 Z

審査官 川崎 良平

(56)参考文献 特開2004-071620(JP,A)  
国際公開第2005/038863(WO,A1)  
特開2000-183040(JP,A)  
特開2003-151964(JP,A)  
特開2006-086411(JP,A)  
特開2002-353308(JP,A)  
特開2000-173999(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 21/30, 21/302, 21/304, 21/308