

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-85504

(P2018-85504A)

(43) 公開日 平成30年5月31日 (2018.5.31)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 21/316 (2006.01)	H O 1 L 21/316 X	4 K O 3 O
H O 1 L 21/3065 (2006.01)	H O 1 L 21/302 1 O 5 A	4 M 1 O 4
H O 1 L 21/314 (2006.01)	H O 1 L 21/302 1 O 1 C	5 F O O 4
H O 1 L 21/31 (2006.01)	H O 1 L 21/314 Z	5 F O 3 3
H O 1 L 21/28 (2006.01)	H O 1 L 21/31 C	5 F O 4 5

審査請求 未請求 請求項の数 25 O L 外国語出願 (全 39 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-216857 (P2017-216857)	(71) 出願人	592010081
(22) 出願日	平成29年11月10日 (2017.11.10)		ラム リサーチ コーポレーション
(31) 優先権主張番号	15/349,746		LAM RESEARCH CORPOR
(32) 優先日	平成28年11月11日 (2016.11.11)		ATION
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国, カリフォルニア 945
			38, フレモント, クッシング パークウ
			エイ 4650
		(74) 代理人	110000028
			特許業務法人明成国際特許事務所
		(72) 発明者	アドリエン・ラボワ
			アメリカ合衆国 オレゴン州97132
			ニューバーグ, コヨーテ・ループ, 127
			05

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 A L Dギャップ充填スパーサマスクを用いる自己整合型マルチパターニングプロセスフロー

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】自己整合型の複数のパターニングプロセスのための対称的なスパーサを形成する方法および装置を提供する

【解決手段】方法には、コア材314およびターゲット層305を含むパターニングされた基板の上に原子層堆積によってギャップ充填材338を堆積させることと、基板を平坦化することと、コア材をエッチングして対称的なスパーサを形成することとが含まれる。ギャップ充填材は、フィーチャがアンダーフィルされるように、フィーチャを完全に充填するには不十分な期間において堆積されてよい。

【選択図】図3L

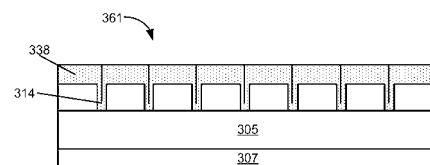


FIG. 3L

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板を処理する方法であって、
ギャップを形成するようにパターニングされたコア材と、ターゲット層とを有する前記基板を提供することと、
ギャップ充填材が前記基板上の前記ギャップに堆積するように、ギャップ充填材を前記コア材の上に共形に堆積させることと、
前記基板を平坦化して、前記ギャップ充填材および前記コア材を含む平面を形成することと、
前記コア材を選択的にエッチングして、前記ターゲット層をエッチングするためのマスクとして用いられる対称形状のスペーサを形成することと
を含む、方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記ギャップ充填材は、原子層堆積によって堆積される、方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記ギャップ充填材は、前記ギャップを完全に充填するには不十分な期間において原子層堆積によって堆積される、方法。

20

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記ギャップ充填材は、酸化シリコン、窒化シリコン、炭化シリコン、および、酸化チタンからなる群より選択される、方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記ギャップは、約 $x \times [nm]$ 未満の開口を有し、前記ギャップ充填材は、前記ギャップ充填材を約 $0.4 \times x \times [nm]$ から約 $0.5 \times x \times [nm]$ の間の厚さに堆積させるのに十分な期間において堆積する、方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の方法であって、
 x は 50 である、方法。

30

【請求項 7】

請求項 5 に記載の方法であって、
 x は 50 未満である、方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記対称形状のスペーサは、前記ギャップ充填材を含む、方法。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記コア材は炭素を含む、方法。

40

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、
前記コア材は、スピンオン炭素、ダイヤモンド状炭素、および、ギャップ充填アッシング可能ハードマスクからなる群より選択される、方法。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の方法であって、
前記ギャップ充填材を堆積させることは、前記基板をシリコン含有前駆体および酸化プラズマの交互パルスに曝露することを含む、方法。

【請求項 12】

方法であって、

50

マスクを形成するスペーサを含む基板を提供することであって、各スペーサは、前記スペーサの上面に垂直な側壁を備え、前記スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成されることと、

前記ギャップ充填材および前記コア材を平坦化して平面を形成することと、

前記コア材を選択的に除去することと、

前記スペーサを前記マスクとして用いてターゲット層をエッチングすることとを含む、方法。

【請求項 13】

方法であって、

マスクを形成するスペーサを含む基板を提供することであって、各スペーサは、 $90^\circ \pm 5^\circ$ の角度で前記スペーサの上面に交わる側壁を備え、前記スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成されることと、

前記ギャップ充填材および前記コア材を平坦化して平面を形成することと、

前記コア材を選択的に除去することと、

前記スペーサを前記マスクとして用いてターゲット層をエッチングすることとを含む、方法。

【請求項 14】

方法であって、

ギャップを形成するようにパターニングされたコア材と、ターゲット層とを有する基板を提供することと、

ギャップ充填材が前記基板上の前記ギャップに堆積するように、ギャップ充填材を前記コア材の上に共形に堆積させることと、

前記基板を平坦化して、前記ギャップ充填材および前記コア材を含む平面を形成することと、

前記コア材を選択的にエッチングして、対称形状のスペーサを形成することと、

前記対称形状のスペーサをマスクとして用いて前記ターゲット層をエッチングすることとを含み、

前記対称形状のスペーサは、平坦な上部形状を有し、前記対称形状のスペーサの垂直面が前記対称形状のスペーサの上部水平面から 90° または約 90° に配向されている、方法。

【請求項 15】

方法であって、

ギャップを形成するようにパターニングされたコア材と、ターゲット層とを有する基板を提供することと、

ギャップ充填材が前記基板上の前記ギャップに堆積するように、ギャップ充填材を前記コア材の上に共形に堆積させることと、

前記基板を平坦化して、水平な平坦上部形状を有する前記ギャップ充填材と、前記コア材とを含む平面を形成することと、

前記コア材を選択的にエッチングして、前記ターゲット層をエッチングするためのマスクとして用いられる対称形状のスペーサを形成することと

を含む、方法。

【請求項 16】

方法であって、

ギャップを形成するようにパターニングされたコア材と、ターゲット層とを有する基板を提供することと、

ギャップ充填材が前記基板上の前記ギャップに堆積するように、ギャップ充填材を前記コア材の上に共形に堆積させることと、

前記基板を平坦化して、前記ギャップ充填材および前記コア材を含む平面を形成することと、

前記コア材を選択的にエッチングして、前記ターゲット層をエッチングするためのマス

10

20

30

40

50

クとして用いられる対称形状のスペーサを形成することを含み、

前記対称形状のスペーサは、前記対称形状のスペーサの上面に実質的に垂直な側壁を有する、方法。

【請求項 17】

請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の方法であって、

前記マスクの対称形状のスペーサ間の臨界寸法は、約 50 nm 未満である、方法。

【請求項 18】

請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の方法であって、

前記対称形状のスペーサは、複数のパターニング技術に用いられる、方法。

【請求項 19】

請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の方法であって、さらに、

前記ギャップ充填材を堆積させる前に、前記基板の上に別の共形膜を堆積させ前記共形膜を異方性エッチングして、前記コア材の前記側壁上に側壁スペーサを形成することを含む、方法。

【請求項 20】

請求項 19 に記載の方法であって、

前記基板を選択的にエッチングして前記対称形状のスペーサを形成することは、前記側壁スペーサに対して選択的に前記コア材および前記ギャップ充填材を除去することを含む、方法。

【請求項 21】

請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の方法であって、

前記基板を選択的にエッチングして前記対称形状のスペーサを形成することは、前記ギャップ充填材に対して選択的に前記コア材を除去することを含む、方法。

【請求項 22】

基板をパターニングする装置であって、

1 つ以上のプロセスチャンバと、

前記 1 つ以上のプロセスチャンバおよび関連する流量制御ハードウェアへの 1 つ以上のガス流入口と、

低周波無線周波数 (L F R F) 発生器と、

高周波無線周波数 (H F R F) 発生器と、

少なくとも 1 つのプロセッサおよびメモリを有するコントローラと、を備え、

前記少なくとも 1 つのプロセッサおよび前記メモリは、互いに通信可能に接続され、

前記少なくとも 1 つのプロセッサは、前記流量制御ハードウェア、前記 L F R F 発生器、および、前記 H F R F 発生器と少なくとも動作可能に接続され、

前記メモリは、前記流量制御ハードウェア、前記 H F R F 発生器、および、前記 L F R F 発生器を少なくとも制御するように前記少なくとも 1 つのプロセッサを制御するためのコンピュータ実行可能な命令を記憶して、

ギャップ充填材前駆体の導入を行わせて、ターゲット層を含む基板のコア材の上にギャップ充填材を共形に堆積させ、前記コア材はギャップを形成するようにパターニングされており、前記堆積は前記ギャップ充填材が前記基板上の前記ギャップに堆積するように行われ、

前記基板の平坦化を行わせて、前記ギャップ充填材および前記コア材を含む平面を形成し、

前記コア材の選択的なエッチングを行わせて、前記ターゲット層をエッチングするためのマスクとして用いられる対称形状のスペーサを形成する、装置。

【請求項 23】

基板をパターニングする装置であって、

1 つ以上のプロセスチャンバと、

前記 1 つ以上のプロセスチャンバおよび関連する流量制御ハードウェアへの 1 つ以上のガス流入口と、

10

20

30

40

50

低周波無線周波数（ＬＦＲＦ）発生器と、
高周波無線周波数（ＨＦＲＦ）発生器と、
少なくとも１つのプロセッサおよびメモリを有するコントローラと、を備え、
前記少なくとも１つのプロセッサおよび前記メモリは、互いに通信可能に接続され、
前記少なくとも１つのプロセッサは、前記流量制御ハードウェア、前記ＬＦＲＦ発生器
、および、前記ＨＦＲＦ発生器と少なくとも動作可能に接続され、
前記メモリは、前記流量制御ハードウェア、前記ＨＦＲＦ発生器、および、前記ＬＦＲ
Ｆ発生器を少なくとも制御するように前記少なくとも１つのプロセッサを制御するための
コンピュータ実行可能な命令を記憶して、

前記１つ以上のプロセスチャンバへの基板の搬送を行わせ、前記基板は、マスクを形
成するスペーサを含み、各スペーサは、前記スペーサの上面に垂直な側壁を備え、前記ス
ペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成され

、
前記ギャップ充填材および前記コア材の平坦化を行わせて平面を形成し、
前記コア材の選択的な除去を行わせ、
前記スペーサを前記マスクとして用いてターゲット層のエッチングを行わせる、装置

【請求項２４】

基板をパターニングする装置であって、
１つ以上のプロセスチャンバと、
前記１つ以上のプロセスチャンバおよび関連する流量制御ハードウェアへの１つ以上の
ガス流入口と、

低周波無線周波数（ＬＦＲＦ）発生器と、
高周波無線周波数（ＨＦＲＦ）発生器と、
少なくとも１つのプロセッサおよびメモリを有するコントローラと、を備え、
前記少なくとも１つのプロセッサおよび前記メモリは、互いに通信可能に接続され、
前記少なくとも１つのプロセッサは、前記流量制御ハードウェア、前記ＨＦＲＦ発生器
、および、前記ＬＦＲＦ発生器と少なくとも動作可能に接続され、
前記メモリは、前記流量制御ハードウェア、前記ＨＦＲＦ発生器、および、前記ＬＦＲ
Ｆ発生器を少なくとも制御するように前記少なくとも１つのプロセッサを制御するための
コンピュータ実行可能な命令を記憶して、

前記１つ以上のプロセスチャンバへの基板の搬送を行わせ、前記基板は、マスクを形
成するスペーサを含み、各スペーサは、 $90^{\circ} \pm 5^{\circ}$ の角度で前記スペーサの上面に交わ
る側壁を備え、前記スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させる
ことによって形成され、

前記ギャップ充填材および前記コア材の平坦化を行わせて平面を形成し、
前記コア材の選択的な除去を行わせ、
前記スペーサを前記マスクとして用いてターゲット層のエッチングを行わせる、装置

【請求項２５】

請求項２２から２４のいずれか一項に記載の装置であって、
前記コントローラは、さらに、前記ギャップ充填材を堆積させる前に前記基板の上に別
の共形膜の堆積を行わせるための命令と、前記共形膜の異方性エッチングを行わせて前記
コア材の前記側壁上に側壁スペーサを形成するための命令とを含む、装置。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【０００１】

高度集積回路の製作には、半導体の大量生産において小さなフィーチャのパターニング
が含まれることが多い。マルチパターニング技術は、 193 nm 液浸リソグラフィなどの
リソグラフィ技術に基づいてフィーチャサイズのスケールアップが可能であってよい。自己

10

20

30

40

50

整合型ダブルパターニングは、マルチパターニング技術の一例である。

【発明の概要】

【0002】

本明細書では、半導体基板などの基板を処理する方法が提供される。一態様は基板を処理する方法を含み、その方法は、ギャップ形成するようにパターニングされたコア材と、ターゲット層とを有する基板を提供することと、ギャップ充填材が基板上のギャップに堆積するように、ギャップ充填材をコア材の上に共形に堆積させることと、基板を平坦化してギャップ充填材およびコア材を含む平面を形成することと、コア材を選択的にエッチングしてターゲット層をエッチングするためのマスクとして用いられる対称形状のスペーサを形成することとを含む。

10

【0003】

様々な実施形態では、ギャップ充填材は、原子層堆積によって堆積される。いくつかの実施形態では、ギャップ充填材は、ギャップを完全に充填するには不十分な期間において原子層堆積によって堆積される。

【0004】

いくつかの実施形態では、ギャップは約 $x \times [nm]$ 未満の開口を有し、ギャップ充填材は、ギャップ充填材を約 $0.4 \times x \times [nm]$ から約 $0.5 \times x \times [nm]$ の間の厚さに堆積させるのに十分な期間において堆積する。いくつかの実施形態では、 x は 50 であり、いくつかの実施形態では、 x は 50 未満である。

20

【0005】

いくつかの実施形態では、ギャップ充填材は、酸化シリコン、窒化シリコン、炭化シリコン、および、酸化チタンのいずれか 1 つである。

【0006】

いくつかの実施形態では、マスクにおける対称形状のスペーサ間の臨界寸法は、約 50 nm 未満である。対称形状のスペーサは、複数のパターニング技術に用いられてよい。いくつかの実施形態では、ギャップ充填材を堆積することと基板を平坦化することは、ピッチウォーキングを低減させる。様々な実施形態では、対称形状のスペーサは、ギャップ充填材を含む。

【0007】

この方法は、また、ギャップ充填材を堆積させる前に基板の上に別の共形膜を堆積し、別の共形膜を異方的にエッチングしてコア材の側壁上に側壁スペーサを形成することを含んでもよい。様々な実施形態では、基板を選択的にエッチングして対称形状のスペーサを形成することは、側壁スペーサに対して選択的にコア材およびギャップ充填材を除去することを含む。基板を選択的にエッチングして対称形状のスペーサを形成することは、ギャップ充填材に対して選択的にコア材を除去することを含んでもよい。

30

【0008】

様々な実施形態では、コア材は、スピンオン炭素、ダイヤモンド状炭素、および / または、ギャップ充填アッシング可能ハードマスクのいずれかであってよい。

【0009】

様々な実施形態では、ギャップ充填材を堆積させることは、基板をシリコン含有前駆体および酸化プラズマの交互パルスに曝露することを含む。

40

【0010】

別の態様を含む方法は、マスクを形成するスペーサを含む基板を提供することであって、各スペーサは、スペーサの上面に垂直な側壁を備え、スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成されることと、ギャップ充填材およびコア材を平坦化して平面を形成することと、コア材を選択的に除去することと、スペーサをマスクとして用いてターゲット層をエッチングすることとを含む。様々な実施形態では、マスクは約 50 nm 未満のピッチを有する。

【0011】

様々な実施形態では、ギャップ充填材は、原子層堆積によって堆積される。いくつかの

50

実施形態では、ギャップ充填材は、ギャップを完全に充填するには不十分は期間において原子層堆積によって堆積される。

【0012】

いくつかの実施形態では、ギャップ充填材は、酸化シリコン、窒化シリコン、炭化シリコン、および、酸化チタンからなる群より選択される。

【0013】

対称形状のスペーサは、複数のパターニング技術に用いられてよい。いくつかの実施形態では、ギャップ充填材を堆積させることと基板を平坦化することとは、ピッチウォーキングを低減させる。様々な実施形態では、対称形状のスペーサは、ギャップ充填材を含む。

10

【0014】

様々な実施形態では、コア材は炭素を含む。コア材は、スピンオン炭素、ダイヤモンド状炭素、および/または、ギャップ充填アッシング可能ハードマスクのいずれかであってよい。

【0015】

様々な実施形態では、ギャップ充填材を堆積させることは、基板をシリコン含有前駆体および酸化プラズマの交互パルスに曝露することを含む。

【0016】

別の態様が含む方法は、マスクを形成するスペーサを含む基板を提供することであって、各スペーサは、 $90^\circ \pm 5^\circ$ の角度でスペーサの上面に交わる側壁を備え、スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成されることと、ギャップ充填材およびコア材を平坦化して平面を形成することと、コア材を選択的に除去することと、スペーサをマスクとして用いてターゲット層をエッチングすることを含む。

20

【0017】

様々な実施形態では、ギャップ充填材は、原子層堆積によって堆積される。いくつかの実施形態では、ギャップ充填材は、ギャップを完全に充填するには不十分な期間において原子層堆積によって堆積される。

【0018】

いくつかの実施形態では、ギャップ充填材は、酸化シリコン、窒化シリコン、炭化シリコン、および、酸化チタンのいずれかである。

30

【0019】

対称形状のスペーサは、複数のパターニング技術に用いられてよい。いくつかの実施形態では、ギャップ充填材を堆積させることと基板を平坦化することとは、ピッチウォーキングを低減させる。様々な実施形態では、対称形状のスペーサは、ギャップ充填材を含む。

【0020】

様々な実施形態では、コア材は炭素を含む。コア材は、スピンオン炭素、ダイヤモンド状炭素、および/または、ギャップ充填アッシング可能ハードマスクのいずれかであってよい。

40

【0021】

様々な実施形態では、ギャップ充填材を堆積させることは、基板をシリコン含有前駆体および酸化プラズマの交互パルスに曝露することを含む。

【0022】

別の態様は、基板をパターニングする装置を含み、この装置は、1つ以上のプロセスチャンバと、1つ以上のプロセスチャンバおよび関連する流量制御ハードウェアへの1つ以上のガス流入口と、低周波無線周波数(LFRF)発生器と、高周波無線周波数(HFRF)発生器と、少なくとも1つのプロセッサおよびメモリを有するコントローラとを備え、少なくとも1つのプロセッサおよびメモリは、互いに通信可能に接続され、少なくとも1つのプロセッサは、流量制御ハードウェア、LFRF発生器、および、HFRF発生器

50

と少なくとも動作可能に接続され、メモリは、流量制御ハードウェア、H F R F 発生器、および、L F R F 発生器を少なくとも制御するように少なくとも1つのプロセッサを制御するためのコンピュータ実行可能な命令を記憶して：ギャップ充填材前駆体を導入してターゲット層を含む基板のコア材の上にギャップ充填材を共形に堆積させ、コア材はギャップを形成するためにパターニングされ、堆積はギャップ充填材が基板上のギャップに堆積するように行われ、基板を平坦化してギャップ充填材およびコア材を含む平面を形成し、コア材を選択的にエッチングしてターゲット層をエッチングするためのマスクとして用いられる対称形状のスペーサを形成する。

【0023】

別の態様は、基板をパターニングする装置を含み、この装置は、1つ以上のプロセスチャンバと、1つ以上のプロセスチャンバおよび関連する流量制御ハードウェアへの1つ以上のガス流入口と、低周波無線周波数(L F R F)発生器と、高周波無線周波数(H F R F)発生器と、少なくとも1つのプロセッサおよびメモリを有するコントローラとを備え、少なくとも1つのプロセッサおよびメモリは、互いに通信可能に接続され、少なくとも1つのプロセッサは、流量制御ハードウェア、L F R F 発生器、および、H F R F 発生器と少なくとも動作可能に接続され、メモリは、流量制御ハードウェア、H F R F 発生器、および、L F R F 発生器を少なくとも制御するように少なくとも1つのプロセッサを制御するためのコンピュータ実行可能な命令を記憶して：マスクを形成するスペーサを含む基板を1つ以上のプロセスチャンバに搬送し、各スペーサは、スペーサの上面に垂直な側壁を備え、スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成され、充填材およびコア材を平坦化して平面を形成し、コア材を選択的に除去し、スペーサをマスクとして用いてターゲット層をエッチングする。様々な実施形態では、マスクは約50nm未満のピッチを有する。

【0024】

別の態様は、基板をパターニングする装置を含み、この装置は、1つ以上のプロセスチャンバと、1つ以上のプロセスチャンバおよび関連する流量制御ハードウェアへの1つ以上のガス流入口と、低周波無線周波数(L F R F)発生器と、高周波無線周波数(H F R F)発生器と、少なくとも1つのプロセッサおよびメモリを有するコントローラとを備え、少なくとも1つのプロセッサおよびメモリは、互いに通信可能に接続され、少なくとも1つのプロセッサは、流量制御ハードウェア、L F R F 発生器、および、H F R F 発生器と少なくとも動作可能に接続され、メモリは、流量制御ハードウェア、H F R F 発生器、および、L F R F 発生器を少なくとも制御するように少なくとも1つのプロセッサを制御するためのコンピュータ実行可能な命令を記憶して：マスクを形成するスペーサを含む基板を1つ以上のプロセスチャンバに搬送し、各スペーサは、90°±5°の角度でスペーサの上面に交わる側壁を備え、スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成され、充填材およびコア材を平坦化して平面を形成し、コア材を選択的に除去し、スペーサをマスクとして用いてターゲット層をエッチングする。

【0025】

これらの態様および他の態様は、図面を参照して以下にさらに説明される。

【図面の簡単な説明】

【0026】

- 【図1A】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。
- 【図1B】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。
- 【図1C】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。
- 【図1D】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。
- 【図1E】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。
- 【図1F】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。
- 【図1G】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。
- 【図1H】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。
- 【図1I】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。

10

20

30

40

50

【図 1 J】クアッドパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【 0 0 2 7 】

【図 2】特定の開示の実施形態に従って実施された方法の動作を表すプロセスフロー図。

【 0 0 2 8 】

【図 3 A】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【図 3 B】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【図 3 C】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

10

【図 3 D】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【図 3 E】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【図 3 F】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【図 3 G】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【 0 0 2 9 】

【図 3 H】特定の開示の実施形態に従ってフィーチャをアンダーフィルするための例示的なスキームにおける基板の概略図。

20

【図 3 I】特定の開示の実施形態に従ってフィーチャをアンダーフィルするための例示的なスキームにおける基板の概略図。

【 0 0 3 0 】

【図 3 J】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【図 3 K】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【図 3 L】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

30

【図 3 M】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【図 3 N】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【図 3 O】特定の開示の実施形態に従って実施されたパターニングスキームの一例における基板の概略図。

【 0 0 3 1 】

【図 3 P】特定の開示の実施形態に従ってフィーチャをアンダーフィルするための例示的なスキームにおける基板の概略図。

【図 3 Q】特定の開示の実施形態に従ってフィーチャをアンダーフィルするための例示的なスキームにおける基板の概略図。

40

【図 3 R】特定の開示の実施形態に従ってフィーチャをアンダーフィルするための例示的なスキームにおける基板の概略図。

【 0 0 3 2 】

【図 4】特定の開示の実施形態を実施するための例示的なプロセスチャンバの概略図。

【図 5】特定の開示の実施形態を実施するための例示的なプロセスツールの概略図。

【 0 0 3 3 】

【図 6】特定の開示の実施形態を実施するための例示的なプロセスチャンバの概略図。

【図 7】特定の開示の実施形態を実施するための例示的なプロセスツールの概略図。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 3 4 】

以下の説明では、本実施形態の十分な理解を提供するために多くの特定の詳細が記載される。開示の実施形態は、これらの特定の詳細の一部または全てなしで実行されてよい。他の例では、周知のプロセス動作は、開示の実施形態を不必要に曖昧にしないように詳細には説明されていない。開示の実施形態は特定の実施形態と併せて説明されるが、開示の実施形態を限定する意図はないことが理解されるだろう。

【 0 0 3 5 】

多くの半導体製造プロセスでは、パターニング方法が用いられる。特に、マルチパターニングは、その光学的限界を超えてリソグラフィ技術を拡充するのに用いられてきた。ダブルパターニングおよびクアドパターニングは、その光学的限界を超えてリソグラフィ技術を拡充するのに用いられる例示的な技術であり、ダブルパターニングは、今や業界内で約 80 nm 未満のピッチに広く用いられている。現在のダブルパターニング技術は、トレンチをパターニングするために 2 つのマスキングステップを伴う側壁スペースを用いることが多い。ポジ型およびネガ型両方のダブルパターニングプロセスにおけるダブルパターニング（特に、ラインパターニング）の方法は、スペースおよびマスクの使用を含んでいる。スペースは、パターニングされたコア上にプラズマ強化原子層堆積（PEALD）によって堆積され、より小さいピッチのパターンを形成するのに用いられてよい。装置が小型化し、ピッチが縮小するにつれて、スペースの傾き、ラインの曲がり、および、パターニングされたスペースの潰れなどの問題が起こり、その結果、装置の故障を引き起こす可能性がある。特に、コア層が焼成されて除去されるときに、スペースの傾きによるピッチウォーキングが見られる。

【 0 0 3 6 】

図 1 A ~ 図 1 J は、ピッチウォーキングをもたらすクアドパターニングスキームにおける基板の例示的な概略図である。図 1 A は、第 2 のコア 103、ターゲット層 105、および、下層 107 の上に、リソグラフィによって画定されたまたはパターニングされた第 1 のコア 101 を有する基板を示す。当業者は、本明細書で説明される半導体処理に適した多層スタックには、エッチング停止層、キャップ層、および、他の下層などの他の層も含まれてよいことを理解するだろう。

【 0 0 3 7 】

パターニングされた第 1 のコア 101 は、フォトレジストであってよい、または、非晶質炭素材もしくは非晶質シリコン材を含んでよい。パターニングされた第 1 のコア 101 は、プラズマ強化化学気相堆積（PECVD）などの任意の適した堆積技術によって第 2 のコア 103 の上に堆積されてよく、堆積技術には、堆積チャンバ内で炭化水素前駆体を含む堆積ガスからプラズマを生成することが含まれてよい。炭化水素前駆体は、化学式 C_xH_y （ x は 2 から 10 の間の整数、 y は 2 から 24 の間の整数）によって定義されてよい。例には、メタン（ CH_4 ）、アセチレン（ C_2H_2 ）、エチレン（ C_2H_4 ）、プロピレン（ C_3H_6 ）、ブタン（ C_4H_{10} ）、シクロヘキサン（ C_6H_{12} ）、ベンゼン（ C_6H_6 ）、および、トルエン（ C_7H_8 ）が含まれる。高周波（HF）電力および低周波（LF）電力を含む二重無線周波数（RF）プラズマ源が用いられてよい。

【 0 0 3 8 】

第 2 のコア 103 の下にはターゲット層 105 がある。ターゲット層 105 は、最終的にパターニングされる層であってよい。ターゲット層 105 は、半導体、誘電体、または、他の層であってよく、例えば、シリコン（Si）、酸化シリコン（ SiO_2 ）、窒化シリコン（ SiN ）、または、窒化チタン（ TiN ）からなっておりよい。ターゲット層 105 は、原子層堆積（ALD）、PEALD、化学気相堆積（CVD）、または、他の適した堆積技術によって堆積されてよい。

【 0 0 3 9 】

図 1 B では、第 1 の共形膜 109 がパターニングされた第 1 のコア 101 の上に堆積されている。第 1 の共形膜 109 は、いくつかの実施形態では、ALD または PEALD によって堆積されてよい。第 1 の共形膜 109 は異方的にエッチングされて、図 1 C に示さ

れるような第1のスペーサ119が形成される。第1のスペーサ119は、酸化シリコン(SiO_2)もしくは酸化チタン(TiO_2)などの酸化物、または、窒化シリコン(SiN)などの窒化物であってよい。第1のスペーサ119のパターンは、次の層をパターニングするのに用いられる。本明細書で用いられる「スペーサ」との単語は、コア材に隣接するマスク材を意味することが理解されるだろう。

【0040】

図1Dでは、パターニングされた第1のコア101が選択的にエッチングされて、基板上に自立する第1のスペーサ119が残される。本明細書で用いられる選択的除去または選択的エッチングは、ある材料の別の材料に対する選択的なエッチングとして定義される。例えば、図1Dでは、パターニングされた第1のコアは、第1のスペーサ119に対して選択的にエッチングされる。いくつかの実施形態では、第1の材料が第2の材料に選択的にエッチングされる場合、一定期間に第1の材料が第2の材料より多くエッチングされるように、第1の材料のエッチング速度は第2の材料のエッチング速度より速いことが理解されるだろう。

10

【0041】

第1のスペーサ119のパターンは、約50nmのピッチを有してよい。臨界寸法がかなり大きい場合、これより大きい臨界寸法ではピッチウォーキングのリスクはほとんどない。

【0042】

図1Eでは、第2のコア層103がパターニングされたスペーサ119をマスクとして用いてエッチングされることで、パターンが第2のコア層103に転写されて、パターニングされた第2のコア113が形成される。パターニングされた第2のコア113は、第2のコア層103をエッチングするのに適しているがパターニングされたスペーサ119をエッチングするには適さない化学物質を用いてエッチングされてよい。パターニングされた第2のコア113は、非晶質炭素層、非晶質シリコン層、または、ポリメタクリル酸メチル、ポリメチルグルタリイミド(PMGI)、もしくは、フェノールホルムアルデヒド樹脂などのフォトレジストであってよい。

20

【0043】

図1Fでは、第1のスペーサ119が選択的に除去されて、パターニングされた第2のコア113が残される。一例では、スペーサは、 CHF_3 および/または CF_4 を流入させることによって除去されてよい。

30

【0044】

図1Gでは、第2の共形膜120が、パターニングされた第2のコア113の上に堆積される。第2の共形膜120は、ALDまたはPEALDによって堆積された誘電材料であってよい。例えば、いくつかの実施形態では、第2の共形膜120は酸化シリコンであってよい。いくつかの実施形態では、第2の共形膜120は、第1の共形膜109と同様または類似の組成物を有してよい。

【0045】

図1Hでは、第2の共形膜120が異方的にエッチングされて、パターニングされた第2のコア113の側面に位置する第2のスペーサ121が形成される。図1Iでは、パターニングされた第2のコア113が選択的に除去されて、自立する第2のスペーサ125が残される。ここで、パターニングされた第2のコア113は、図1Dにおいてパターニングされた第1のコア101のエッチングと同様または類似の化学物質を用いてエッチングされてよい。

40

【0046】

図1Jでは、第2のスペーサ125のパターンがターゲット層105に転写されるときは、パターニングされたターゲット層115は、全て異なる値であってよい様々な臨界寸法、および、を有する。スペーサ125の非対称性は、ターゲット層を形成するための不均一なエッチングを招き、それによってピッチウォーキングが起こる。非対称なスペーサ125を用いるターゲット層105のエッチングによって、ターゲット層の斜め

50

エッチングを引き起こすエッチング種のイオン角度分布が起こる。パターニングされたコア材の除去中のドライエッチング条件がシャドーイング効果をもたらすため、このプロセスは部分的にピッチウォーキングを引き起こす。

【0047】

現在のパターニングスキームおよび技術は、ピッチウォーキングなしでターゲット層をエッチングするのに用いられうるスペーサを形成するには不十分である。本明細書で提供されるのは、原子層堆積ギャップ充填技術を用いて対称的なスペーサを形成するための方法および装置である。対称的なスペーサは、ターゲット層をエッチングするためのスペーサのマスクとしての使用がピッチウォーキングをもたらさないように、および/または、ピッチウォーキングを低減させるように、改善された上部形状を提供する。対称的なスペーサは、約 $90^\circ \pm 5^\circ$ の点で交わる鋭利な角部を含む。開示の実施形態は、スペーサの上面に垂直な、または、実質的に垂直な側壁を有するスペーサを形成する。実質的に垂直とは、本明細書では、 $90^\circ \pm 5^\circ$ の角度を有するとして定義される。方法は、ALDを用いてパターニングされた基板の上のフィーチャを充填、または、部分的に充填して基板上に被りを形成することと、基板を平坦化することと、ギャップ充填材およびコア材を除去して対称的なスペーサを形成することとを含む。対称的とは、本明細書では、コア材が除去されて自立するスペーサが残った後に、スペーサの両側に実質的に同じ形状を有することとして定義される。例えば、対称的なスペーサは、スペーサの上部水平面から 90° または約 90° に配向されたスペーサの垂直面を備える平坦な上部形状を有してよい。

【0048】

図2は、特定の開示の実施形態に従って実施される方法の動作を表すプロセスフロー図である。図2の1つ以上の動作は、様々な実施形態で実施されてよい。いくつかの実施形態では、図2で説明される動作の1つのみが実施される。例えば、いくつかの実施形態では、マスクとして形成された対称的なスペーサを備える基板が提供され、マスクを用いてターゲット層をエッチングするために動作215のみが実施される。別の例では、基板が提供され、コア材を除去して対称的なスペーサをマスクとして形成するために動作211のみが用いられる。これらの実施形態および他の実施形態は、図2に関連して説明されたいずれか1つ以上の動作を用いて実施されてよいことが理解されるだろう。

【0049】

動作201では、パターニングされたコア材およびターゲット層を有する基板が提供される。パターニングされたコア材は、フォトレジストであってよい、または、非晶質炭素材もしくは非晶質シリコン材からなってもよい。いくつかの実施形態では、コア材は透明であってよい。コア材は、プラズマ強化化学気相堆積 (PECVD) などの堆積技術によって堆積され、その堆積技術には、基板を収容する堆積チャンバ内で炭化水素前駆体を含む堆積ガスからプラズマを生成することが含まれてよい。炭化水素前駆体は、化学式 C_aH_b (a は2から10の間の整数、 b は2から24の間の整数) によって定義されてよい。例には、メタン (CH_4)、アセチレン (C_2H_2)、エチレン (C_2H_4)、プロピレン (C_3H_6)、ブタン (C_4H_{10})、シクロヘキサン (C_6H_{12})、ベンゼン (C_6H_6)、および、トルエン (C_7H_8) が含まれる。高周波 (HF) 電力および低周波 (LF) 電力を含む二重周波数 (RF) プラズマ源が用いられてよい。コア材は、パターニングされる前にターゲット層の上に堆積される。ターゲット層は、最終的にパターニングされる層であってよい。ターゲット層は、半導体、誘電体、または、他の層であってよく、例えば、シリコン (Si)、酸化シリコン (SiO_2)、窒化シリコン (SiN)、または、窒化チタン (TiN) からなってもよい。ターゲット層は、原子層堆積 (ALD)、プラズマ強化ALD (PEALD)、化学気相堆積 (CVD)、または、別の適した堆積技術によって堆積されてよい。

【0050】

動作203では、スペーサ材を含む共形膜がパターニングされたコア材の上に堆積され、共形膜が異方的にエッチングされてパターニングされたコア材の側壁に水平なスペーサが形成される。図3Aは、下層307、ターゲット層305、パターニングされたコア材

3 1 3、および、スペーサ 3 2 1を含む例示的な基板の概略図を提供する。これは、図 2 の動作 2 0 3 実施後の基板上のパターンの例である。動作 2 0 3 は、図 3 J ~ 図 3 O に関連して以下に説明されるように、いくつかの実施形態では任意であってよい。

【0051】

図 2 に戻ると、動作 2 0 6 では、ギャップ充填材が A L D によって基板の上に堆積される。ギャップ充填材は、シリコン含有材であってよい、または、いくつかの実施形態では、チタン含有材であってよい。例には、酸化シリコン、窒化シリコン、炭化シリコン、および、酸化チタンが含まれる。ギャップ充填材は、約 5 0 から約 4 0 0 の間、または、約 1 0 0 未満（例えば、約 5 0 ）などの任意の適した温度で堆積されてよい。ギャップ充填材は、ビス（ジエチルアミノ）シラン、ビス（tert - ブチルアミノ）シラン、および、ジイソプロピルアミノシランなどの任意の適した前駆体を用いて堆積されてよい。

10

【0052】

ギャップ充填材は、A L D を用いて共形に堆積される。A L D は、一連の自己制限反応を用いて材料の薄膜を堆積させる技術である。A L D プロセスは、表面媒介堆積反応を用いて膜を周期的に一層ベースで堆積させる。例として、A L D サイクルは次の動作を含んでよい：（i）前駆体の供給／吸着、（i i）チャンバからの前駆体のバージ、（i i i）第 2 の反応剤の供給および任意でのプラズマ点火、および（i v）チャンバからの副生成物のバージ。基板の表面に膜を形成するための第 2 の反応剤と吸着した前駆体との間の反応は、膜の組成物および性質（不均一性、圧力、ウェットエッチング速度、ドライエッチング速度、電気特性（例えば、耐圧および漏洩電流）など）に影響を与える。

20

【0053】

A L D プロセスの一例では、表面活性部位群を含む基板表面は、基板を収容するチャンバに供給された量でシリコン含有前駆体などの第 1 の前駆体の気相分布に曝露される。この第 1 の前駆体の化学吸着種、および／または、物理吸着分子を含む第 1 の前駆体の分子は、基板表面上に吸着する。本明細書に説明されるように化合物が基板表面に吸着するときは、吸着層は、化合物だけでなく化合物の派生物も含んでよいことを理解されたい。例えば、シリコン含有前駆体の吸着層は、シリコン含有前駆体だけでなくシリコン含有前駆体の派生物も含んでよい。第 1 の前駆体の投与後、チャンバは次に、主に吸着種または吸着種のみが残るように、気相に残る第 1 の前駆体のほとんどまたは全てを除去するように排気される。いくつかの実施形態では、チャンバは完全に排気されなくてもよい。例えば、リアクタは、気相中の第 1 の前駆体の分圧が反応を緩和するのに十分なほど低くなるように排気されてよい。酸素含有ガスなどの第 2 の反応剤は、これらの分子のいくつかは表面に吸着した第 1 の前駆体と反応するようにチャンバに導入される。いくつかのプロセスでは、第 2 の反応剤は、吸着した第 1 の前駆体と直ちに反応する。他の実施形態では、第 2 の反応剤は、プラズマなどの活性源が時間的に印加された後にのみ反応する。チャンバは次に、第 2 の反応剤の未結合分子を除去するために再び排気されてよい。上述のように、いくつかの実施形態では、チャンバは完全には排気されなくてもよい。膜厚を増やすために追加の A L D サイクルが用いられてよい。

30

【0054】

いくつかの実施形態では、A L D 法はプラズマ活性化を含む。本明細書で説明されるように、本明細書で説明される A L D 法および装置は、共形膜堆積（C F D）であってよく、2 0 1 1 年 4 月 1 1 日出願の「P L A S M A A C T I V A T E D C O N F O R M A L F I L M D E P O S I T I O N」と題した米国特許出願第 1 3 / 0 8 4 , 3 9 9 号（現在は米国特許第 8 , 7 2 8 , 9 5 6 号）、および、2 0 1 1 年 4 月 1 1 日出願の「S I L I C O N N I T R I D E F I L M S A N D M E T H O D S」と題した米国特許出願第 1 3 / 0 8 4 , 3 0 5 号に一般に記載されており、それらの全てが参照により本明細書に援用される。

40

【0055】

酸化シリコンギャップ充填材の堆積のために、基板は以下のようにサイクルに曝露され

50

てよい。シリコン含有前駆体は、シリコン含有前駆体を基板表面に吸着させるために導入される。開示の実施形態に従う使用に適したシリコン含有前駆体は、ポリシラン誘導体 ($\text{H}_3\text{Si} - (\text{SiH}_2)_n - \text{SiH}_3$) ($n \geq 0$) を含む。シラン誘導体の例は、シラン (SiH_4)、ジシラン (Si_2H_6)、ならびに、メチルシラン、エチルシラン、イソプロピルシラン、*t*-ブチルシラン、ジメチルシラン、ジエチルシラン、ジ-*t*-ブチルシラン、アリルシラン、*sec*-ブチルシラン、テキシルシラン、イソアミルシラン、*t*-ブチルジシラン、ジ-*t*-ブチルジシランなどのオルガノシランである。

【0056】

ハロシランは、少なくとも1つのハロゲン基を含み、水素および/または炭素基を含んでも含まなくてもよい。ハロシランの例は、ヨードシラン、プロモシラン、クロロシラン、および、フルオロシランである。プラズマが生成されるときに、ハロシラン、特にフルオロシランは、シリコン材をエッチングできる反応性ハロゲン化合物種を形成してよいが、いくつかの実施形態では、プラズマが生成されるときにハロシランはチャンバに導入されなくてもよい。ハロシランからの反応性ハロゲン化合物種の形成は低減されてよい。特定のクロロシランは、テトラクロロシラン、トリクロロシラン、ジクロロシラン、モノクロロシラン、クロロアリルシラン、クロロメチルシラン、ジクロロメチルシラン、クロロジメチルシラン、エチルクロロシラン、*t*-ブチルクロロシラン、ジ-*t*-ブチルクロロシラン、クロロイソプロピルシラン、クロロ-*sec*-ブチルシラン、*t*-ブチルジメチルクロロシラン、テキシルジメチルクロロシランなどである。

【0057】

アミノシランは、ケイ素原子に結合した少なくとも1つの窒素原子を含むが、水素、酸素、ハロゲン、および、炭素を含んでもよい。アミノシランの例には、モノ-、ジ-、トリ-、および、テトラ-アミノシラン(それぞれ、 $\text{H}_3\text{Si}(\text{NH}_2)$ 、 $\text{H}_2\text{Si}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{HSi}(\text{NH}_2)_3$ 、 $\text{Si}(\text{NH}_2)_4$)だけでなく、置換モノ、置換ジ-、置換トリ-、および、置換テトラ-アミノシラン(例えば、*t*-ブチルアミノシラン、メチルアミノシラン、*tert*-ブチルシランアミン、ビス(*tert*-ブチルアミノ)シラン($\text{SiH}_2(\text{NHC}(\text{CH}_3)_3)_2$ (BTBAS)、*tert*-ブチルシリルカルバメート、 $\text{SiH}(\text{CH}_3) - (\text{N}(\text{CH}_3)_2)_2$ 、 $\text{SiHCl} - (\text{N}(\text{CH}_3)_2)_2$ 、 $(\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{NH})_3$ など)が含まれる。アミノシランのさらなる例は、トリシリルアミン($\text{N}(\text{SiH}_3)_3$)である。

【0058】

処理されている基板を収容するチャンバは、基板表面に吸着されない前駆体を除去するためにパージされてよい。チャンバのパージは、他の動作で用いられるキャリアガスもしくは異なるガスであるパージガスまたはスweepガスを流入させることを含んでよい。例示的なパージガスには、アルゴン、窒素、水素、および、ヘリウムが含まれる。様々な実施形態では、パージガスは不活性ガスである。例示的な不活性ガスには、アルゴン、窒素、および、ヘリウムが含まれる。いくつかの実施形態では、パージはチャンバの排気を含む。いくつかの実施形態では、パージは、プロセスチャンバを排気するための1つ以上の排気サブフェーズを含んでよい。その代わりに、いくつかの実施形態では、パージが省略されてよいことが理解されるだろう。

【0059】

シリコン含有前駆体の吸着層を備える基板は酸化体に曝露され、酸化プラズマを用いて吸着前駆体を酸化シリコンに変換する条件下でプラズマが点火される。例示的な酸化体には、酸素ガス、水、二酸化炭素、亜酸化窒素、および、それらの組み合わせが含まれる。様々な実施形態では、基板は、プラズマの点火中に、同時に酸化体および不活性ガスに曝露される。例えば、一実施形態では、酸素およびアルゴンの混合物は、プラズマの点火中に基板に導入される。次に、酸化シリコンを形成するための反応から発生する未反応の酸化体および/または副生成物を除去するために、チャンバは再びパージされてよい。これらの投与、パージ、変換、パージの動作は複数サイクル繰り返されて、基板の上に共形に一層ずつギャップ充填材を堆積させてよい。

【 0 0 6 0 】

図 3 B は、基板の上に共形に堆積されているギャップ充填材 3 9 5 の例示的な概略図を示す。より多くのサイクルが実施されるにつれて、スペーサ 3 2 1 の間のフィーチャは充填され、図 3 C に示されるように側壁に堆積した材料が交わる継ぎ目 3 6 0 が形成されてよい。図 3 C は、パターニングされたコア材 3 1 3 の上面の上の被りを有するように堆積されたギャップ充填材 3 9 6 を含む。いくつかの実施形態では、図 2 の動作 2 0 5 におけるギャップ充填材は、フィーチャをアンダーフィルするように、または、ギャップを完全に充填するには不十分な期間において堆積するように、多数のサイクルで実施されてよい。アンダーフィルについては、図 3 H および図 3 I に関連して以下にさらに説明される。いくつかの実施形態では、完全充填およびアンダーフィル両方の実施形態を示す図 3 J ~ 図 3 O に関連して以下に説明されるように、動作 2 0 5 で堆積されたギャップ充填材は、対称的なスペーサを形成するための材料として用いられる。

10

【 0 0 6 1 】

図 2 に戻ると、動作 2 0 7 では、ギャップ充填材は、平坦面を形成するためにエッチバックされる。エッチバックまたは平坦化は、ウェットエッチングプロセス、ドライエッチングプロセス、または、化学機械平坦化 (CMP) を用いて実施されてよい。様々な実施形態では、動作 2 0 7 は、ギャップ充填材、スペーサ材、および、パターニングされたコアにわたって平坦面を形成するように平坦化することをさらに含む。図 3 D には、エッチングされたギャップ充填材 3 9 9、スペーサ材 3 2 5、および、コア材 3 1 3 が平坦化されている例が提供されている。エッチングされたギャップ充填材 3 9 9 に残った小さい継ぎ目 3 6 0 があってよいことに注意されたい。

20

【 0 0 6 2 】

別の実施形態では、基板上のフィーチャがアンダーフィルされるようにギャップ充填材を堆積させるために、図 2 の動作 2 0 5 が実施される。例えば、ALD の堆積サイクルは、側壁に堆積した膜の間の空間距離が約 5 nm から約 50 nm の間になるように、多数のサイクルで繰り返されてよい。アンダーフィルの実施形態を示す図 3 B に続いてよい例が図 3 H に示されている。微小ギャップ 3 8 0 がフィーチャの中央に残る図 3 H に示されるように基板がアンダーフィルされるまで、ギャップ充填材は、図 3 B では ALD によって基板の上に共形に堆積される。堆積されるギャップ充填材の量は、側壁に十分な厚さを少なくとも提供するように堆積された量に依存する。いくつかの実施形態では、フィーチャは、約 $x \times [nm]$ 未満のフィーチャ開口部を有し、ギャップ充填材は、ギャップ充填材が約 $0.4 \times x \times [nm]$ から約 $0.5 \times x \times [nm]$ の間の厚さに堆積するのに十分な期間において堆積される。いくつかの実施形態では、フィーチャは、約 5 nm 未満のフィーチャ開口部を有し、ギャップ充填材は、ギャップ充填材が約 2 nm から約 2.5 nm の間の厚さに堆積するのに十分な期間において堆積される。例えば、ギャップ充填材は、約 50 nm のフィーチャ開口部を有するフィーチャに対して約 20 nm から約 30 nm の間の厚さに堆積されてよい。フィーチャを完全に充填して図 3 B に示されるような継ぎ目を形成する代わりに、基板は動作 2 0 7 でエッチバックされて、それでもなお微小ギャップ 3 6 0 を有するエッチングされたギャップ充填材 3 9 8 を形成してよい。しかし、ギャップ充填材は、対称的なスペーサ 3 2 5 を形成するために用いられる犠牲層であるため、いくつかの実施形態では、ギャップ充填材は、動作 2 0 5 において完全に充填されるのではなくアンダーフィルされてよい。

30

40

【 0 0 6 3 】

図 2 に戻ると、動作 2 0 9 では、ギャップ充填材は選択的に除去されて、基板上にパターニングされたコア材およびスペーサ材が残される。図 3 E に例が提供されている。図のように、ギャップ充填材は除去されて、ターゲット層 3 0 5 の上にコア材 3 1 3 および側壁スペーサ 3 2 5 が生成される。ギャップ充填材が対称的なスペーサを形成するのに用いられる実施形態では、この動作は実施されないことに注意されたい。

【 0 0 6 4 】

図 2 に戻ると、動作 2 1 1 では、コア材が選択的にエッチングされて、対称的なスペー

50

サがマスクとして形成される。図 3 F に例が提供されている。図のように、スペーサ 3 2 5 は、図 1 I に示されるスペーサ 1 2 5 と比べて対称的であり傾いていない。

【 0 0 6 5 】

図 2 に戻ると、動作 2 1 5 では、対称的なスペーサをマスクとして用いてターゲット層がエッチングされる。図 3 G に例が提供されており、エッチングされたターゲット層 3 1 5 は、図 1 J で生じた様々な臨界寸法と比べて一貫した臨界寸法 を有する。

【 0 0 6 6 】

図 3 J ~ 図 3 R は、特定の開示の実施形態を実施するための別の実施形態を提供する。例えば、図 3 J ~ 図 3 O は、図 2 の動作 2 0 3 が実施されないように基板の上にギャップ充填材を直接堆積させることによって、ギャップ充填材を用いて自立する対称的なスペーサを形成することを含む。図 3 P ~ 図 3 R は、アンダーフィルを含む別の実施形態の例を示し、そこでは、図 2 の動作 2 0 3 が実施されず、ターゲット層をパターニングするためにアンダーフィルされたギャップ充填材がスペーサとして用いられる。これらの実施形態は、以下にさらに詳細に説明される。

【 0 0 6 7 】

図 3 J では、下層 3 0 7、ターゲット層 3 0 5、および、パターニングされたコア 3 1 4 を含む基板が提供される。図 3 K では、ギャップ充填材 3 3 7 が原子層堆積を用いて基板の上に共形に堆積される。例示的な用いられてよいギャップ充填材および用いられてよい堆積技術は、図 2 の動作 2 0 5 に関連して上述されている。図 3 L では、パターニングされたコア 3 1 4 の間のフィーチャまたはギャップが完全に充填されることによって、側壁の堆積材が交わる継ぎ目 3 6 1 の形成をもたらすまで、ギャップ充填材 3 3 8 が堆積されている。いくつかの実施形態では、図 3 P ~ 図 3 R に関連して以下に説明されるように、フィーチャの中間に微小ギャップを残すようにアンダーフィルが実施されてよい。

【 0 0 6 8 】

図 3 M では、基板が平坦化されて、たった今平坦化されたコア 3 1 7 およびギャップ充填材 3 3 9 を含む平坦面が生成される。ギャップ充填材 3 3 9 には継ぎ目 3 6 1 がまだ存在してよいことに注意されたい。図 2 に関連して上述されたように、平坦化は動作 2 0 7 に従って実施されてよい。図 3 N では、平坦化されたコア材 3 1 7 が選択的にエッチングされて、各々がいまだ継ぎ目 3 6 1 を有してよい自立する対称的なスペーサ 3 3 9 が残される。コア材は、図 2 の動作 2 1 1 に関連して上述したように除去されてよい。図 3 O では、対称的なスペーサがマスクとして用いられてターゲット層 3 0 5 をエッチングし、次にマスクが除去されて、パターニングされたターゲット層 3 3 5 が生成される。ターゲット層をエッチングするのに用いられたエッチング種のイオン角度分布は、ターゲット層を効果的にエッチングして一貫した臨界寸法 を有するパターンを生成できることに注意されたい。

【 0 0 6 9 】

図 3 P ~ 図 3 R は、ギャップ充填材を対称的なスペーサマスクとして用いながらフィーチャをアンダーフィルするための別の実施形態を提供する。例えば、図 3 K の基板は複数サイクルの原子層堆積が施されてフィーチャを部分的に充填することによって、フィーチャ内にギャップ 3 6 5 が残されてよい。基板は図 2 の動作 2 0 7 によって平坦化されて、ギャップ充填材 3 7 8 のフィールド領域がコア材 3 1 3 のフィールド領域と面一になる平坦面を有する図 3 P に示される基板が生成されてよい。図 3 Q では、コア材は図 2 の動作 2 1 1 によって選択的に除去されて、各々がフィーチャのアンダーフィルでいまだギャップ 3 6 5 を備えてよい自立する対称的なスペーサ 3 7 8 が生成される。スペーサ 3 7 8 は、ターゲット層 3 0 5 をパターニングするのに用いられてよく、スペーサ 3 7 8 が対称的であるため、ターゲット層 3 0 5 をエッチングするのに用いられるエッチング種のイオン角度分布は角度エッチングを引き起こさず、そのため一貫した臨界寸法 を有するパターニングされたターゲット層 3 4 5 が形成される。

【 0 0 7 0 】

特定の開示の実施形態は、ギャップ充填材が約 2 nm から約 200 nm の間の臨界寸法

10

20

30

40

50

を有する既存のフィーチャに堆積する用途に適している。開示の実施形態は、20 nm 未満のノードでの用途に適している。開示の実施形態は、ギャップ充填材が約 20 : 1 を超えるアスペクト比を有する既存のフィーチャに堆積するパターニングされた基板を形成するのにも適している。

【0071】

装置：

図4は、プロセスチャンバ402を有する原子層堆積（ALD）プロセスステーション400の実施形態の概略図を表す。プロセスチャンバ402は、低圧環境を維持するために用いられてよい。複数のALDプロセスステーションが、共通の低圧プロセスツール環境に含まれてよい。例えば、図5は、マルチステーション処理ツール500の実施形態を表している。いくつかの実施形態では、以下に詳細に述べられるものを含むALDプロセスステーション400の1つ以上のハードウェアパラメータが、1つ以上のコンピュータ制御装置450によってプログラムで調整されてよい。

【0072】

ALDプロセスステーション400は、プロセスガスを分配シャワーヘッド406に供給するための反応剤供給システム401aと流体連通する。反応剤供給システム401aは、シャワーヘッド406に供給するためのシリコン含有ガスまたは酸素含有ガスなどのプロセスガスを混合する、および/または、調整するための混合容器404を備える。1つ以上の混合容器吸入弁420は、混合容器404へのプロセスガスの導入を制御してよい。

【0073】

例として、図4の実施形態は、混合容器404に供給される液体反応剤を蒸発させるための蒸発点403を含む。いくつかの実施形態では、蒸発点403は、加熱した蒸発器であってよい。かかる蒸発器から生成された飽和反応剤蒸気は、下流の供給配管に凝縮してよい。凝縮した反応剤への不和合ガスの曝露は、小粒子を生成する可能性がある。これらの小粒子は、配管を詰まらせ、弁動作を妨げ、基板を汚染するなどの可能性がある。これらの問題に対処するいくつかのアプローチには、残留反応剤を除去するための供給配管のパージおよび/または排気が含まれる。しかし、供給配管のパージは、プロセスステーションのサイクルタイムを増加させ、プロセスステーションのスループットを低下させる可能性がある。そのため、いくつかの実施形態では、蒸発点403の下流の供給配管がヒートトレースされてよい。いくつかの例では、混合容器404もヒートトレースされてよい。非限定的な一例では、蒸発点403の下流の配管は、混合容器404において約100から約150におよぶ昇温プロファイルを有する。

【0074】

いくつかの実施形態では、液体前駆体または液体反応剤が液体注入器（図示せず）で蒸発されてよい。例えば、液体注入器は、液体反応剤のパルスを混合容器404の上流のキャリアガス流に注入してよい。一実施形態では、液体注入器は、液体をより高圧からより低圧に流すことによって反応剤を蒸発させてよい。別の例では、液体注入器は、加熱した供給配管で次に蒸発される分散微小液滴に液体を霧化してよい。小液滴は、大液滴より速く蒸発して、液体注入と完全蒸発との間の遅延を低減してよい。より急速な蒸発によって蒸発点403から下流の配管の長さが短縮されてよい。一つのシナリオでは、液体注入器は、混合容器404に直接取り付けられてよい。別のシナリオでは、液体注入器は、シャワーヘッド406に直接取り付けられてよい。

【0075】

いくつかの実施形態では、蒸発およびプロセスチャンバ402への供給のための液体の質量流量を制御するために、蒸発点403の上流に液体流量コントローラ（LFC）が設けられてよい。例えば、LFCは、LFCの下流に位置する熱式質量流量計（MFM）を備えてよい。LFCのプランジャ弁は、次に、MFMと電気通信する比例積分微分（PID）コントローラによって提供される帰還制御信号に応答して調整されてよい。しかし、帰還制御を用いて液体流を安定させるのに1秒以上かかる可能性がある。これにより、液

10

20

30

40

50

体反応剤を投与する時間が拡大する可能性がある。そのため、いくつかの実施形態では、LFCは、帰還制御モードと直接制御モードとの間で動的に切り替えられてよい。いくつかの実施形態では、これはLFCの認識チューブおよびPIDコントローラを停止させることによって実施されてよい。

【0076】

シャワーヘッド406は、プロセスガスを基板412に向かって分配する。図4に示される実施形態では、基板412は、シャワーヘッド406の下に位置し、台座408の上に載っていることが示されている。シャワーヘッド406は、任意の適した形状であってよく、プロセスガスを基板412に分配するための任意の適した数および配置の給排気口を有してよい。

10

【0077】

いくつかの実施形態では、台座408は上昇または下降されて、基板412を基板412とシャワーヘッド406との間の容積に曝露してよい。いくつかの実施形態では、台座408は、ヒータ410によって温度制御されてよい。台座408は、様々な開示の実施形態を実施するための動作中は、約25 から約650 の間などの任意の適した温度に設定されてよい。いくつかの実施形態では、台座の高さは、適したコンピュータ制御装置450によってプログラム調整されてよいことが理解されるだろう。

【0078】

別のシナリオでは、台座408の高さの調整によって、特定の開示の実施形態で実施されるプラズマ活性化サイクルの際にプラズマ密度が変化してよい。プロセスフェーズの最後に、台座408は別の基板搬送フェーズ中に下降されて、基板412が台座408から除去されてよい。

20

【0079】

いくつかの実施形態では、シャワーヘッド406の位置は、基板412とシャワーヘッド406との間の容積が変化するように台座408に対して調整されてよい。さらに、台座408および/またはシャワーヘッド406の垂直位置は、本開示の範囲内における任意の適した機構によって変更されてよいことが理解されるだろう。いくつかの実施形態では、台座408は、基板412の向きを回転させるための回転軸を備えてよい。いくつかの実施形態では、1つ以上のこれらの例示的な調整は、1つ以上の適したコンピュータ制御装置450によってプログラムで実施されてよい。コンピュータ制御装置450は、図5のコントローラ550に関連して以下に説明されるあらゆる特徴を含んでよい。

30

【0080】

プラズマが上述のように用いられてよいいくつかの実施形態では、シャワーヘッド406および台座408は、プラズマを出力するための無線周波数(RF)電源414および整合ネットワーク416と電氣的に連通する。いくつかの実施形態では、プラズマエネルギーは、プロセスステーション圧力、ガス濃度、RF源電力、RF源周波数、および、プラズマ電力パルスタイミングのうちの1つ以上を制御することによって制御されてよい。例えば、RF電源414および整合ネットワーク416は任意の適した電力で操作されて、所望の組成のラジカル種を有するプラズマが形成されてよい。同様に、RF電源414は、任意の適した周波数のRF電力を提供してよい。いくつかの実施形態では、RF電源414は、互いに独立する高周波RF電源および低周波RF電源を制御するように構成されてよい。例示的な低周波RF周波数は、0kHzから500kHzの間の周波数を含んでよいが、それに限定されない。例示的な高周波RF周波数は、1.8MHzから2.45GHzの間、または約13.56MHzを超える、または27MHzを超える、または40MHzを超える、または60MHzを超える周波数を含んでよいが、それに限定されない。表面反応のためのプラズマエネルギーを提供するために、任意の適したパラメータが別々にまたは連続して調整されてよいことが理解されるだろう。

40

【0081】

いくつかの実施形態では、プラズマは、1つ以上のプラズマモニタによってin-situで監視されてよい。1つのシナリオでは、プラズマ電力は、1つ以上の電圧・電流セ

50

ンサ（例えば、V Iプローブ）によって監視されてよい。別のシナリオでは、プラズマ密度および/またはプロセスガス濃度は、1つ以上の発光分光分析センサ（O E S）によって測定されてよい。いくつかの実施形態では、1つ以上のプラズマパラメータは、かかる *in-situ* のプラズマモニタからの測定値に基づいてプログラム調整されてよい。例えば、O E Sセンサは、プラズマ電力のプログラム制御を提供するためのフィードバックループで用いられてよい。いくつかの実施形態では、プラズマおよび他のプロセス特性を監視するのに他のモニタが用いられてよいことが理解されるだろう。かかるモニタは、赤外線（I R）モニタ、音響モニタ、および、圧力変換器を含んでよいが、それらに限定されない。

【0082】

いくつかの実施形態では、コントローラ450のための命令は、入出力制御（I O C）シーケンシング命令によって提供されてよい。一例では、プロセスフェーズの条件を設定するための命令は、プロセスレシピの対応するレシピフェーズに含まれてよい。いくつかの場合では、プロセスフェーズのための全ての命令がそのプロセスフェーズと同時に実行されるように、プロセスレシピフェーズは順次配置されてよい。いくつかの実施形態では、1つ以上のリアクタパラメータを設定するための命令は、レシピフェーズに含まれてよい。例えば、第1のレシピフェーズは、不活性ガスおよび/または反応ガス（例えば、シリコン含有前駆体などの第1の前駆体）の流量を設定するための命令と、キャリアガス（アルゴンなど）の流量を設定するための命令と、第1のレシピフェーズのための時間遅延命令とを含んでよい。続く第2のレシピフェーズは、不活性ガスおよび/または反応ガスの流量を調節または停止するための命令と、キャリアガスまたはパージガスの流量を調節するための命令と、第2のレシピフェーズのための時間遅延命令とを含んでよい。第3のレシピフェーズは、酸素などの第2の反応ガスの流量を調節するための命令と、キャリアガスまたはパージガスの流量を調節するための命令と、高プラズマエネルギーを有するプラズマを点火するための命令と、第3のレシピフェーズのための時間遅延命令とを含んでよい。続く第4のレシピフェーズは、不活性ガスおよび/または反応ガスの流量を調節または停止するための命令と、キャリアガスまたはパージガスの流量を調節するための命令と、第3のレシピフェーズのための時間遅延命令とを含んでよい。かかるレシピは、対称的なスペーサを順次形成するためにパターニングされた基板の上にギャップ充填材を堆積させるのに用いられてよい。いくつかのレシピは、パターニングされた基板をギャップ充填材と共にアンダーフィルするのに用いられてよい。これらのレシピフェーズは、本開示の範囲における任意の適した方法で、さらに細分化および/または反復されてよいことが理解されるだろう。

【0083】

また、いくつかの実施形態では、プロセスステーション400の圧力制御がバタフライ弁418によって提供されてよい。図4の実施形態に示されるように、バタフライ弁418は、下流の真空ポンプ（図示せず）によって提供される真空を抑える。しかし、いくつかの実施形態では、プロセスステーション400の圧力制御は、プロセスステーション400に導入された1つ以上のガスの流量を変更することによって調整されてもよい。

【0084】

上述のように、1つ以上のプロセスステーションがマルチステーション処理ツールに含まれてよい。図5は、搬入ロードロック502および搬出ロードロック504を備えるマルチステーション処理ツール500の実施形態の概略図を示し、搬入ロードロック502および搬出ロードロック504のいずれかまたは両方は、遠隔プラズマ源（図示せず）を備えてよい。ロボット506は、大気圧で、容器508を通して搬入されたカセットから大気口510を通してウエハを搬入ロードロック502に移動するように構成される。ウエハ（図示せず）は搬入ロードロック502の台座512の上にロボット506によって設置され、大気口510が閉じられ、搬入ロードロック502がポンプダウンされる。搬入ロードロック502が遠隔プラズマ源を備える場合、ウエハは、処理チャンバ514に導入される前に、搬入ロードロック502で遠隔プラズマ処理に曝されてよい。また、ウ

10

20

30

40

50

エハは、例えば、水分および吸着したガスを除去するために、搬入ロードロック 5 0 2 で加熱されてもよい。次に、処理チャンバ 5 1 4 へのチャンバ搬送口 5 1 6 が開かれ、別のロボット（図示せず）が処理用のリアクタ内に示される第 1 のステーションの台座上のリアクタ内にウエハを設置する。図 5 に表された実施形態はロードロックを含むが、いくつかの実施形態では、ウエハがプロセスステーションに直接搬入されてよいことが理解されるだろう。

【 0 0 8 5 】

図の処理チャンバ 5 1 4 は、図 5 に示された実施形態では 1 から 4 まで番号が振られた 4 つのプロセスステーションを備える。各ステーションは、加熱された台座（ステーション 1 の 5 1 8 ）およびガスライン吸入口を有する。いくつかの実施形態では、各プロセスステーションが異なるまたは複数の目的を有してよいことが理解されるだろう。例えば、いくつかの実施形態では、プロセスステーションは、A L D プロセスモードとプラズマ強化 A L D プロセスモードとの間で切り替え可能であってよい。いくつかの実施形態では、堆積前駆体への曝露、ならびに、第 2 の反応剤およびプラズマへの曝露は、同じステーションで実施される。さらにまたはあるいは、いくつかの実施形態では、処理チャンバ 5 1 4 は、1 つ以上の左右一対の A L D およびプラズマ強化 A L D プロセスステーションを備えてよい。図の処理チャンバ 5 1 4 は 4 つのステーションを備えるが、本開示による処理チャンバは、任意の適した数のステーションを有してよいことが理解されるだろう。例えば、いくつかの実施形態では、処理チャンバは 5 つ以上のステーションを備えてよく、他の実施形態では、処理チャンバは 3 つ以下のステーションを有してよい。

【 0 0 8 6 】

図 5 は、処理チャンバ 5 1 4 内でウエハを搬送するためのウエハハンドリングシステム 5 9 0 の実施形態を表している。いくつかの実施形態では、ウエハハンドリングシステム 5 9 0 は、様々なプロセスステーションの間、および / または、プロセスステーションとロードロックとの間でウエハを搬送してよい。任意の適したウエハハンドリングシステムが採用されてよいことが理解されるだろう。非限定的な例には、ウエハ回転コンベアおよびウエハハンドリングロボットが含まれる。図 5 は、プロセスツール 5 0 0 のプロセス条件およびハードウェア状態を制御するために採用されたシステムコントローラ 5 5 0 の実施形態も表している。システムコントローラ 5 5 0 は、1 つ以上のメモリ装置 5 5 6、1 つ以上の大容量記憶装置 5 5 4、および、1 つ以上のプロセッサ 5 5 2 を備えてよい。プロセッサ 5 5 2 は、C P U またはコンピュータ、アナログおよび / またはデジタルの入出力接続部、ステップモータコントローラ基板などを備えてよい。

【 0 0 8 7 】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 5 5 0 は、プロセスツール 5 0 0 の全ての動作を制御する。システムコントローラ 5 5 0 は、大容量記憶装置 5 5 4 に記憶され、記憶装置 5 5 6 に読み込まれ、プロセッサ 5 5 2 で実行されるシステム制御ソフトウェア 5 5 8 を実行する。あるいは、制御ロジックがコントローラ 5 5 0 でハードコード化されてよい。特定用途向け集積回路、プログラマブルロジックデバイス（例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ、すなわち F P G A ）などがこれらの目的で用いられてよい。以下の説明では、「ソフトウェア」または「コード」が用いられるところはどこでも、その位置には機能的に同等のハードコード化されたロジックが用いられてよい。システム制御ソフトウェア 5 5 8 は、タイミング、ガスの混合、ガス流量、チャンバ圧および / またはステーション圧、チャンバ温度および / またはステーション温度、ウエハ温度、ターゲット電力レベル、R F 電力レベル、基板台座、チャック位置および / またはサセプタ位置、ならびに、プロセスツール 5 0 0 によって実施される特定のプロセスの他のパラメータを制御するための命令を含んでよい。システム制御ソフトウェア 5 5 8 は、任意の適した方法で構成されてよい。例えば、様々なプロセスツール部品のサブルーチンまたは制御対象は、様々なプロセスツールのプロセスを実行するのに用いられるプロセスツール部品の動作を制御するように書き込まれてよい。システム制御ソフトウェア 5 5 8 は、任意の適したコンピュータ可読プログラミング言語でコード化されてよい。

【 0 0 8 8 】

いくつかの実施形態では、システム制御ソフトウェア 5 5 8 は、上述の様々なパラメータを制御するための入出力制御 (I O C) シークエンシング命令を含んでよい。いくつかの実施形態では、システムコントローラ 5 5 0 と関連付けられた大容量記憶装置 5 5 4 および / または記憶装置 5 5 6 に記憶された他のコンピュータソフトウェアおよび / またはプログラムが採用されてよい。この目的のためのプログラムまたはプログラムの区分の例は、基板位置決めプログラム、プロセスガス制御プログラム、圧力制御プログラム、ヒータ制御プログラム、および、プラズマ制御プログラムを含む。

【 0 0 8 9 】

基板位置決めプログラムは、基板を台座 5 1 8 の上に搬入するのに用いられ、基板とプロセスツール 5 0 0 の他の部品との間の間隔を制御するのに用いられるプロセスツール部品のためのプログラムコードを含んでよい。

【 0 0 9 0 】

プロセスガス制御プログラムは、ガス組成 (例えば、本明細書に記載されるシリコン含有ガス、酸素含有ガス、および、パージガス) および流量を制御するためのコード、ならびに、プロセスステーション内の圧力を安定させるために必要に応じて堆積前にガスを 1 つ以上のプロセスステーションに流入させるためのコードを含んでよい。圧力制御プログラムは、例えば、プロセスステーションの排気システム内の絞り弁、プロセスステーションへのガス流入などを調整することによって、プロセスステーション内の圧力を制御するためのコードを含んでよい。

【 0 0 9 1 】

ヒータ制御プログラムは、基板を加熱するのに用いられる加熱装置への電流を制御するためのコードを含んでよい。あるいは、ヒータ制御プログラムは、基板への伝熱ガス (ヘリウムなど) の供給を制御してよい。

【 0 0 9 2 】

プラズマ制御プログラムは、本明細書の実施形態に従って 1 つ以上のプロセスステーションの加工電極に印加される R F 電力レベルを設定するためのコードを含んでよい。

【 0 0 9 3 】

圧力制御プログラムは、本明細書の実施形態に従って反応チャンバ内の圧力を維持するためのコードを含んでよい。

【 0 0 9 4 】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 5 5 0 と関連付けられたユーザインターフェースがあつてよい。ユーザインターフェースは、表示画面、装置および / またはプロセス条件の画像用ソフト表示装置、ならびに、ポインティングデバイス、キーボード、タッチスクリーン、マイクなどのユーザ入力装置を含んでよい。

【 0 0 9 5 】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 5 5 0 によって調整されたパラメータは、プロセス条件に関連してよい。非限定的な例には、プロセスガスの組成および流量、温度、圧力、プラズマ条件 (例えば、R F バイアス電力レベル) などが含まれる。これらのパラメータは、ユーザインターフェースを用いて入力されるレシピの形式でユーザに提供されてよい。

【 0 0 9 6 】

プロセスを監視するための信号は、様々なプロセスツールセンサからシステムコントローラ 5 5 0 のアナログおよび / またはデジタルの入力接続部によって提供されてよい。プロセスを制御するための信号は、プロセスツール 5 0 0 のアナログおよびデジタル出力接続部に出力されてよい。監視されてよいプロセスツールセンサの非限定的な例には、マスフローコントローラ、圧力センサ (例えば、圧力計) 、熱電対などが含まれる。適切にプログラミングされたフィードバック制御アルゴリズムは、プロセス条件を維持するためにこれらのセンサからのデータと共に用いられてよい。

【 0 0 9 7 】

システムコントローラ 550 は、上述の堆積プロセスを実施するためのプログラム命令を提供してよい。プログラム命令は、DC 電力レベル、RF バイアス電力レベル、圧力、温度などの様々なプロセスパラメータを制御してよい。命令は、本明細書で説明される様々な実施形態に従って積層膜の *in-situ* 堆積を動作するようにパラメータを制御してよい。

【0098】

システムコントローラ 550 は、通常、装置が開示の実施形態に従って方法を実施するように命令を実行するよう構成された 1 つ以上の記憶装置、および、1 つ以上のプロセッサを備えるだろう。開示の実施形態に従ってプロセス動作を制御するための命令を含む機械可読媒体は、システムコントローラ 550 に結合されてよい。

10

【0099】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 550 は、上述の例の一部であってよいシステムの一部である。かかるシステムは、処理ツール、チャンバ、処理用プラットフォーム、および/または、特定の処理部品（ウエハ台座、ガス流システムなど）を含む半導体処理装置を備えうる。これらのシステムは、半導体ウエハまたは基板の処理前、処理中、および処理後にそれらの動作を制御するための電子機器と統合されてよい。電子機器は、システムの様々な部品または副部品を制御する「コントローラ」と称されてよい。システムコントローラ 550 は、処理条件および/またはシステムの種類に応じて、本明細書に開示されるあらゆるプロセス（処理ガスの供給、温度設定（例えば、加熱および/または冷却）、圧力設定、真空設定、電力設定、無線周波数（RF）発生器設定、RF 整合回路設定、周波数設定、流量設定、流体供給設定、位置動作設定、ツールおよび他の搬送ツールならびに/または特定のシステムと接続もしくはインタフェースするロードロックに対するウエハの搬出入）を制御するようにプログラムされてよい。

20

【0100】

概して、システムコントローラ 550 は、命令を受け取り、命令を発行し、動作を制御し、クリーニング動作を可能にし、エンドポイント測定を可能にするなどの様々な集積回路、ロジック、記憶、および/または、ソフトウェアを有する電子機器として定義されてよい。集積回路は、プログラム命令を記憶するファームウェア形式のチップ、デジタル信号プロセッサ（DSP）、特定用途向け集積回路（ASIC）として定義されるチップ、および/または、1 つ以上のマイクロプロセッサ、もしくは、プログラム命令（例えば、ソフトウェア）を実行するマイクロコントローラを含んでよい。プログラム命令は、様々な個別設定（またはプログラムファイル）の形式でシステムコントローラ 550 に伝達される命令であって、特定のプロセスを半導体ウエハ上でもしくは半導体ウエハ用に、またはシステムに対して実行するための動作パラメータを定義してよい。いくつかの実施形態では、動作パラメータは、プロセスエンジニアによって定義されるレシピの一部であって、1 つ以上の層、材料、金属、酸化物、シリコン、二酸化シリコン、表面、回路、および/または、ウエハダイの製作中における 1 つ以上の処理工程を実現してよい。

30

【0101】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 550 は、システムと統合または結合された、そうでなければシステムにネットワーク接続された、もしくはこれらが組み合わされたコンピュータの一部であってよく、またはそのコンピュータに結合されてよい。例えば、システムコントローラ 550 は、「クラウド」内にある、または、ウエハ処理のリモートアクセスを可能にする全てもしくは一部のファブホストコンピュータシステムであってよい。コンピュータは、システムへのリモートアクセスを可能にして、製作動作の進捗状況を監視し、過去の製作動作の経歴を調査し、複数の製作動作から傾向または実施の基準を調査し、現在の処理のパラメータを変更し、現在の処理に続く処理工程を設定し、または、新しいプロセスを開始してよい。いくつかの例では、リモートコンピュータ（例えば、サーバ）は、ローカルネットワークまたはインターネットを含んでよいネットワークを通じて、プロセスレシピをシステムに提供できる。リモートコンピュータは、次にリモートコンピュータからシステムに連通されるパラメータおよび/もしくは設定のエント

40

50

りまたはプログラミングを可能にするユーザインターフェースを含んでよい。いくつかの例では、システムコントローラ550は、1つ以上の動作中に実施される各処理工程のためのパラメータを特定するデータ形式の命令を受け取る。パラメータは、実施されるプロセスの種類、および、システムコントローラ550がインターフェースまたは制御するように構成されているツールの種類に特有であってよいことを理解されたい。そのため、上述のように、システムコントローラ550は、例えば、互いにネットワーク接続されている1つ以上の離散コントローラを含み、本明細書で説明されるプロセスや制御など共通の目的に向かって取り組むことにより配置されてよい。かかる目的で配置されたコントローラの例は、遠隔に（例えば、プラットフォームレベルで、または、遠隔コンピュータの一部として）位置し、組み合わせてチャンバ上のプロセスを制御する1つ以上の集積回路と連通しているチャンバ上の1つ以上の集積回路であろう。

10

【0102】

制限するのではなく、例示のシステムは、プラズマエッチングチャンバまたはモジュール、堆積チャンバまたはモジュール、スピンリンスチャンバまたはモジュール、金属めっきチャンバまたはモジュール、クリーンチャンバまたはモジュール、ベベルエッジエッチングチャンバまたはモジュール、物理気相堆積（PVD）チャンバまたはモジュール、化学気相堆積（CVD）チャンバまたはモジュール、ALDチャンバまたはモジュール、原子層エッチング（ALE）チャンバまたはモジュール、イオン注入チャンバまたはモジュール、トラックチャンバまたはモジュール、ならびに、半導体ウエハの製作および/もしくは製造において関連してよいもしくは用いられてよいその他の半導体処理システムを含んでよい。

20

【0103】

上述のように、ツールによって実施される処理工程に応じて、システムコントローラ550は、1つ以上の他のツール回路もしくはモジュール、他のツール部品、クラスタツール、他のツールインターフェース、隣接するツール、近接するツール、工場全体に設置されたツール、メインコンピュータ、別のコントローラ、または、半導体製造工場においてウエハ容器をツール位置および/もしくはロードポートに搬入出する材料搬送で用いられるツールと連通してよい。

【0104】

本明細書に開示された方法を実施するための適切な装置は、各々その全てが本明細書に援用される、2011年4月11日出願の「PLASMA ACTIVATED CONFORMAL FILM DEPOSITION」と題した米国特許出願第13/084,399号（現在は米国特許第8,728,956号）、および、2011年4月11日出願の「SILICON NITRIDE FILMS AND METHODS」と題した米国特許出願第13/084,305号にさらに記載および説明されている。

30

【0105】

本明細書に説明される装置/プロセスは、例えば、半導体デバイス、ディスプレイ、LED、太陽光発電パネルなどの製作もしくは製造のためのリソグラフィパターンニングのツールまたはプロセスと併せて用いられてよい。必ずしも一般的ではないが、かかるツール/プロセスは、共通の製作設備で用いられる、または、併用されるだろう。膜のリソグラフィパターンニングは、通常、（1）スピンオンツールまたはスプレーオンツールを用いてワークピース（すなわち、基板）にフォトレジストを塗布する工程、（2）ホットプレート、加熱炉、または、紫外線硬化ツールを用いてフォトレジストを硬化する工程、（3）ウエハステッパなどのツールを用いてフォトレジストを可視光、紫外線、または、X線に曝露する工程、（4）選択的にレジストを除去することでウェットベンチなどのツールを用いてパターンニングできるようにレジストを現像する工程、（5）ドライエッチングツールまたはプラズマ支援エッチングツールを用いることによってレジストパターンを下地膜またはワークピースに転写する工程、（6）RFまたは電磁波プラズマレジスト剥離剤などのツールを用いてレジストを除去する工程、のいくつかまたは全ての動作を含み、各動作は、多数の可能なツールによって可能になる。

40

50

【 0 1 0 6 】

スペーサ材に選択的なコア材のエッチングなどの本明細書で説明されたエッチング動作は、任意の適したプロセスチャンバで実施されてよい。いくつかの実施形態では、基板は、図 6 に関連して以下に説明される誘導結合プラズマ (I C P) リアクタでエッチングされてよい。

【 0 1 0 7 】

ここでは、特定の実施形態においてエッチング動作に適してよい誘導結合プラズマ (I C P) リアクタについて説明される。かかる I C P リアクタは、全ての目的のためにその全てが参照によって本明細書に援用される、2013 年 12 月 10 出願の「 I M A G E R E V E R S A L W I T H A H M G A P F I L L F O R M U L T I P L E P A T T E R N I N G 」と題した米国特許出願公開第 2014 / 0170853 にも記載されている。本明細書では I C P リアクタが説明されるが、いくつかの実施形態では、容量結合プラズマリアクタが用いられてもよいことを理解されたい。

10

【 0 1 0 8 】

図 6 は、本明細書の特定の実施形態を実施するのに適した誘導結合プラズマ統合エッチング堆積装置 600 の断面図を概略的に示している。この装置の例は、カリフォルニア州フレモントのラムリサーチ株式会社によって製作された K i y o (商標登録) リアクタである。誘導結合プラズマ装置 600 は、チャンバ壁 601 および窓 611 によって構造的に規定された全体プロセスチャンバを備える。チャンバ壁 601 は、ステンレス鋼またはアルミニウムから製作されてよい。窓 611 は、石英または他の誘電物質から製作されてよい。任意の内部プラズマ格子 650 は、全体処理チャンバを上部サブチャンバ 602 および下部サブチャンバ 603 に分割する。ほとんどの実施形態では、サブチャンバ 602 および 603 で構成されたチャンバ空間を利用できるように、プラズマ格子 650 は取り外されてよい。チャック 617 は、底部内面付近の下部サブチャンバ 603 の中に位置する。チャック 617 は、エッチングおよび堆積プロセスが実施される半導体ウエハ 619 を受け入れて保持するように構成される。チャック 617 は、ウエハ 619 が存在するときは、それを支持するための静電チャックでありうる。いくつかの実施形態では、エッジリング (図示せず) は、チャック 617 を囲み、ウエハ 619 がチャック 617 の上に存在するときにウエハ 619 の表面とほぼ同一平面になる上面を有する。チャック 617 は、ウエハをチャックおよびデチャックするための静電電極を備えてもよい。フィルタおよび D C クランプ電源 (図示せず) がこの目的のために提供されてよい。ウエハ 619 をチャック 617 から持ち上げるための他の制御システムも提供されうる。チャック 617 は、R F 電源 623 を用いて電氣的に充填されうる。R F 電源 623 は、接続部 627 を通じて整合回路 621 に接続される。整合回路 621 は、接続部 625 を通じてチャック 617 に接続される。このようにして、R F 電源 623 はチャック 617 に接続される。

20

30

【 0 1 0 9 】

プラズマ生成のための要素は、窓 611 の上方に位置するコイル 633 を含む。いくつかの実施形態では、コイルは開示の実施形態では用いられない。コイル 633 は、導電性材料から製作され、少なくとも 1 回のターンを含む。図 6 に示されたコイル 633 の例は、3 ターンを含む。コイル 633 の断面は記号で示されており、「 X 」を付したコイルは回転して紙面に延び、「」を付したコイルは回転して紙面から出るように延びる。プラズマ生成のための要素には、R F 電力をコイル 633 に供給するように構成された R F 電源 641 も含まれる。一般に、R F 電源 641 は、接続部 645 を通じて整合回路 639 に接続される。整合回路 639 は、接続部 643 を通じてコイル 633 に接続される。このようにして、R F 電源 641 はコイル 633 に接続される。任意のファラデーシールド 649 が、コイル 633 と窓 611 との間に設置される。ファラデーシールド 649 は、コイル 633 に対して離間した関係に維持される。ファラデーシールド 649 は、窓 611 のすぐ上方に配置される。コイル 633、ファラデーシールド 649、および、窓 611 は、互いに実質的に平行になるように各々構成される。ファラデーシールドは、金属または他の種がプラズマチャンバの誘電体窓に堆積するのを防いでよい。

40

50

【0110】

プロセスガスは、上部チャンバに位置する1つ以上のメインガス流入口660を通じて、および/または、1つ以上のサイドガス流入口670を通じて、処理チャンバ内に流入されてよい。同様に、明確には示されていないが、プロセスガスを容量結合プラズマ処理チャンバに供給するのに類似のガス流導入口が用いられてよい。真空ポンプ（例えば、1段階もしくは2段階の機械式ドライポンプ、および/または、ターボ分子ポンプ640）は、プロセスガスをプロセスチャンバ624から引き出してプロセスチャンバ600内の圧力を維持するのに用いられうる。例えば、ポンプは、チャンバ601を排気するのに用いられてよい。真空ポンプによって提供された真空環境の適用を選択的に制御するために、弁制御された導管が真空ポンプを処理チャンバに流体接続するのに用いられてよい。これは、プラズマ処理動作中に、絞り弁（図示せず）または振り子弁（図示せず）などの閉ループ制御された流量制御装置を採用することで実行されてよい。同様に、真空ポンプ、および、容量結合プラズマ処理チャンバへの弁制御された流体接続部も採用されてよい。

10

【0111】

装置の動作中に、1つ以上のプロセスガスがメインガス流入口660および/または670を通じて供給されてよい。特定の実施形態では、プロセスガスは、メインガス流入口660のみを通じて、または、サイドガス流入口670のみを通じて供給されてよい。場合によっては、図に示されるガス流入口は、より複雑なガス流入口（例えば、1つ以上のシャワーヘッド）に置き換えられてよい。ファラデーシールド649および/または任意の格子650は、チャンバへのプロセスガス供給を可能にする内部流路および孔を備えてよい。ファラデーシールド649および任意の格子650のいずれかまたは両方は、プロセスガス供給用のシャワーヘッドとして機能してよい。いくつかの実施形態では、液体反応剤が蒸発すると蒸発した反応物がガス流入口660および/または670を通してチャンバ内に導入されるように、液体蒸発供給システムは、チャンバ601の上流に設置されてよい。

20

【0112】

無線周波数電力はRF電源641からコイル633に供給されて、RF電流がコイル633を通じて流される。コイル633を通じて流れるRF電流は、コイル633の周りに電磁場を生成する。電磁場は、上部サブチャンバ602の中で誘導電流を生成する。様々な発生イオンおよびラジカルとウエハ619との物理的および化学的相互作用によって、ウエハのフィーチャが選択的にエッチングされるとともに、ウエハ上に層が堆積される。

30

【0113】

上部サブチャンバ602および下部サブチャンバ603の両方が存在するようにプラズマ格子が用いられる場合、誘導電流は上部サブチャンバ602に存在するガスに作用して、上部サブチャンバ602で電子・イオンプラズマが生成される。任意の内部プラズマ格子650は、下部サブチャンバ603のホットエレクトロンの量を制限する。いくつかの実施形態では、この装置は、下部サブチャンバ603に存在するプラズマがイオン・イオンプラズマになるように設計されて操作される。

【0114】

上部の電子・イオンプラズマおよび下部のイオン・イオンプラズマの両方は、陽イオンおよび陰イオンを含んでよい。イオン・イオンプラズマは、より大きな陽イオン対陰イオンの比率を有するだろう。揮発性のエッチングおよび/または堆積副生成物は、ポート622を通じて下部サブチャンバ603から除去されてよい。本明細書に開示されたチャック617は、約10 から約850 の範囲の高温で動作してよい。温度は、プロセス動作および特定のレシピに依存するだろう。

40

【0115】

チャンバ601は、クリーンルームまたは製造施設に設置されるときに、設備（図示せず）に結合されてよい。設備には、処理ガス、真空、温度制御、および、環境微粒子制御を提供する配管が含まれる。これらの設備は、目的の製造施設に設置されるときにチャンバ601に結合される。また、チャンバ601は、ロボットが一般的なオートメーション

50

を用いて半導体ウエハをチャンバ 6 0 1 に搬入出できるようにする搬送チャンバに結合されてよい。

【 0 1 1 6 】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 6 3 0 (1 つ以上の物理的または論理的コントローラを含んでよい) は、処理チャンバの一部または全ての動作を制御する。システムコントローラ 6 3 0 は、システムコントローラ 5 5 0 に関連して上述された任意の 1 つ以上の特徴を備えてよい。

【 0 1 1 7 】

図 7 は、真空搬送モジュール 7 3 8 (V T M) とインタフェースする様々なモジュールを備える半導体プロセスクラスタアーキテクチャを表している。ウエハを複数の保管設備および処理モジュールの間で「搬送」するための搬送モジュールの配置は、「クラスタツールアーキテクチャ」システムと呼ばれてもよい。ロードロックまたは搬送モジュールとしても知られるエアロック 7 3 0 は、個々に最適化されて様々な製造プロセスを実施してよい 4 つの処理モジュール 7 2 0 a ~ 7 2 0 d を備える V T M 7 3 8 に示されている。例として、処理モジュール 7 2 0 a ~ 7 2 0 d は、基板のエッチング、堆積、イオン注入、ウエハ洗浄、スパッタリング、および / または、他の半導体プロセスを実施するために実装されてよい。いくつかの実施形態では、A L D および選択的エッチングは、同じモジュールで実施される。いくつかの実施形態では、A L D および選択的エッチングは、同じツールの異なるモジュールで実施される。1 つ以上の基板エッチング処理モジュール (7 2 0 a ~ 7 2 0 d のいずれか) は、本明細書に開示されるように、すなわち、共形膜の堆積、A L D による選択的な成膜、パターンエッチング、および、開示の実施形態に従う他の適した機能のために実装されてよい。エアロック 7 3 0 およびプロセスモジュール 7 2 0 は、「ステーション」と呼ばれてよい。各ステーションは、ステーションを V T M 7 3 8 に接続する端面 7 3 6 を有する。各端面の内側では、ウエハ 7 2 6 がそれぞれのステーションの間を移動するときその通過を検出するためにセンサ 1 ~ 1 8 が用いられる。

【 0 1 1 8 】

ロボット 7 2 2 は、ウエハ 7 2 6 をステーション間で搬送する。一実施形態では、ロボット 7 2 2 は 1 つのアームを有し、別の実施形態では、ロボット 7 2 2 は 2 つのアームを有する。各アームは、ウエハ 7 2 6 などのウエハを搬送のために取り上げるエンドエフェクタ 7 2 4 を有する。大気搬送モジュール (A T M) 7 4 0 におけるフロントエンドロボット 7 3 2 は、カセットまたはロードポートモジュール (L P M) 7 4 2 の前面開閉搬送容器 (F O U P) 7 3 4 からエアロック 7 3 0 にウエハ 7 2 6 を搬送するのに用いられる。プロセスモジュール 7 2 0 の内部のモジュール中心部 7 2 8 は、ウエハ 7 2 6 を設置するための一位置である。A T M 7 4 0 内のアライナ 7 4 4 は、ウエハを位置合わせするのに用いられる。

【 0 1 1 9 】

例示的な処理方法では、ウエハは、L P M 7 4 2 内の F O U P 7 3 4 の 1 つに設置される。フロントエンドロボット 7 3 2 は、ウエハを F O U P 7 3 4 からアライナ 7 4 4 に搬送し、これによりウエハ 7 2 6 がエッチングまたは処理される前に適切に中心に置かれることが可能になる。位置合わせ後に、ウエハ 7 2 6 は、フロントエンドロボット 7 3 2 によってエアロック 7 3 0 に移動される。エアロックモジュールが A T M と V T M との間の環境を整合させる能力を有するため、ウエハ 7 2 6 は、損傷することなく 2 つの圧力環境間を移動することができる。ウエハ 7 2 6 は、ロボット 7 2 2 によってエアロックモジュール 7 3 0 から V T M 7 3 8 を通ってプロセスモジュール 7 2 0 a ~ 7 2 0 d の 1 つに移動される。このウエハの動きを達成するために、ロボット 7 2 2 は、その各々のアームのエンドエフェクタ 7 2 4 を用いる。ウエハ 7 2 6 は、処理されると、ロボット 7 2 2 によってプロセスモジュール 7 2 0 a ~ 7 2 0 d からエアロックモジュール 7 3 0 に移動される。ウエハ 7 2 6 は、ここからフロントエンドロボット 7 3 2 によって F O U P 7 3 4 の 1 つ、または、アライナ 7 4 4 に移動されてよい。

【 0 1 2 0 】

ウエハの動きを制御するコンピュータは、クラスターアーキテクチャにローカルでありうる、または、製造現場でクラスターアーキテクチャの外部もしくは遠隔地に位置して、ネットワークを介してクラスターアーキテクチャに接続しうる。図5に関連して上述されたコントローラは、図7のツールと共に実装されてよい。

【0121】

実験：

実験は、基板上のパターニングされたコア材の上にアスペクト比4：1および30nm以上の開口を有するギャップにギャップ充填酸化シリコン材を堆積させるために行われた。3つの基板各々には、次の動作：シリコン含有前駆体の投与、パージ、プラズマを伴う酸素／アルゴン、パージ、のうちの複数の堆積サイクルが実施された。第1の基板は50で堆積され、第2の基板は200で堆積され、第3の基板は400で堆積された。全ての3つの基板は、対応する温度で優れた充填能力を示した。これは、ギャップ充填材使用の汎用性が広いことを示唆している。膜密度は、異なる温度で変化し、より高い堆積温度ではより高い膜密度を有する。

【0122】

結論：

前述の実施形態は、明確な理解を目的としてある程度詳細に説明されてきたが、添付の特許請求の範囲において一定の変更および修正が行われてよいことは明らかだろう。本実施形態のプロセス、システム、および、装置を実装する多くの別の方法があることに注意されたい。従って、本実施形態は、限定的ではなく例示と見なされるべきであり、本明細書に記載された詳細に限定されるものではない。

10

20

【図1A】

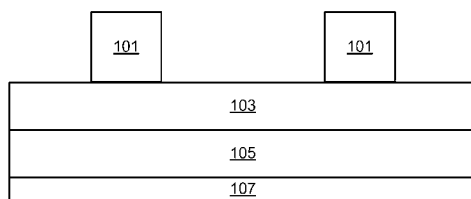


FIG. 1A

【図1C】

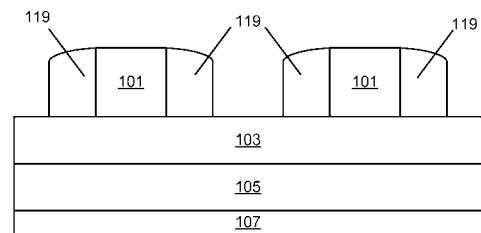


FIG. 1C

【図1B】

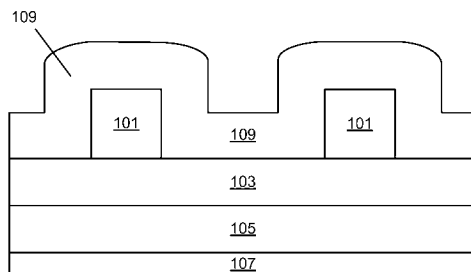


FIG. 1B

【図1D】

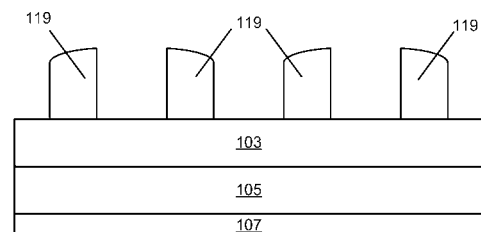


FIG. 1D

【図 1 E】

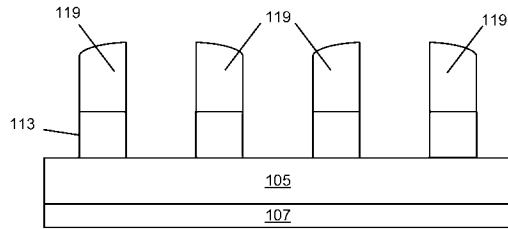


FIG. 1E

【図 1 F】

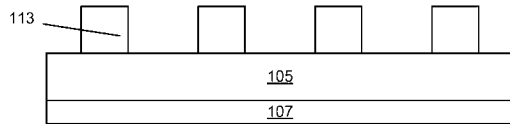


FIG. 1F

【図 1 G】

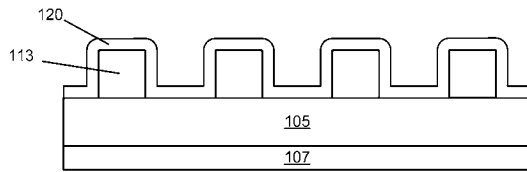


FIG. 1G

【図 1 H】



FIG. 1H

【図 1 I】

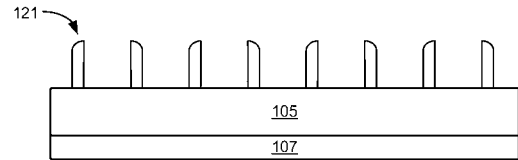


FIG. 1I

【図 1 J】

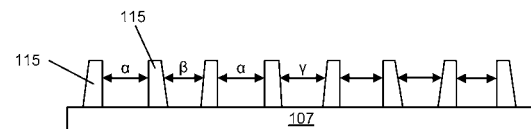


FIG. 1J

【図 2】

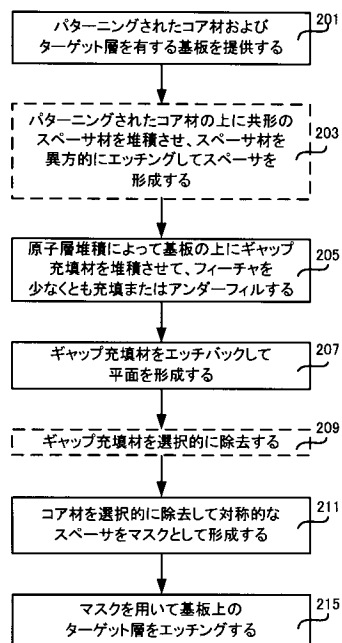


FIG. 2

【図 3 A】

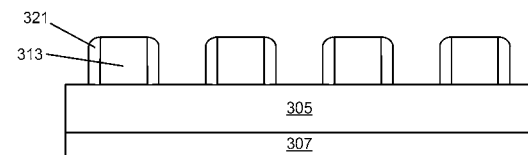


FIG. 3A

【図 3 B】

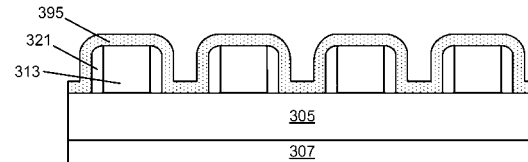


FIG. 3B

【図 3 C】

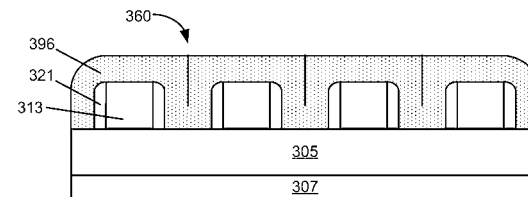


FIG. 3C

【図 3 D】

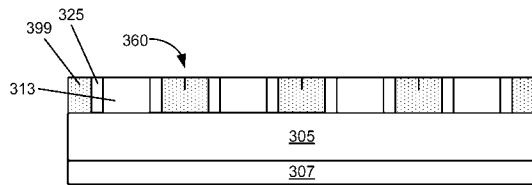


FIG. 3D

【図 3 E】

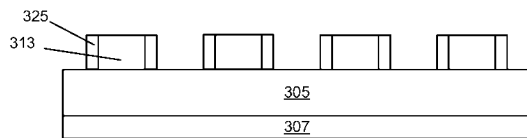


FIG. 3E

【図 3 F】

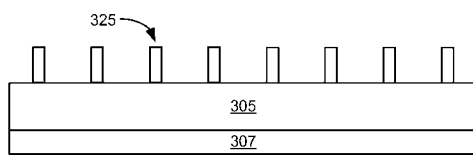


FIG. 3F

【図 3 J】

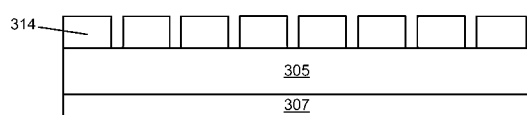


FIG. 3J

【図 3 K】

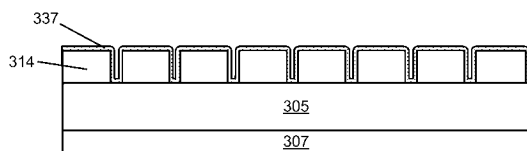


FIG. 3K

【図 3 L】

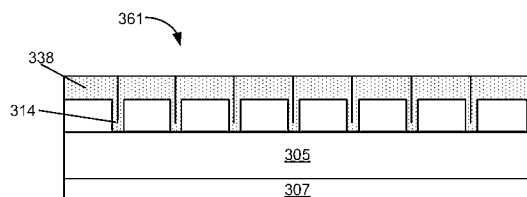


FIG. 3L

【図 3 G】

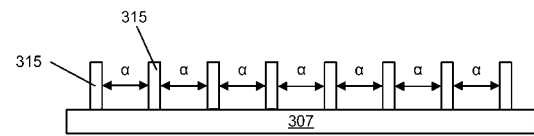


FIG. 3G

【図 3 H】

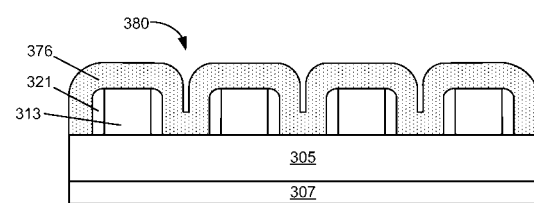


FIG. 3H

【図 3 I】

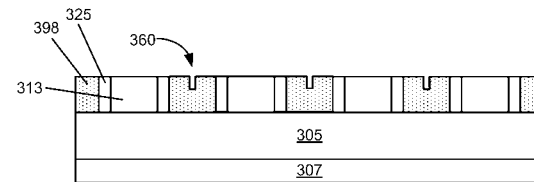


FIG. 3I

【図 3 M】

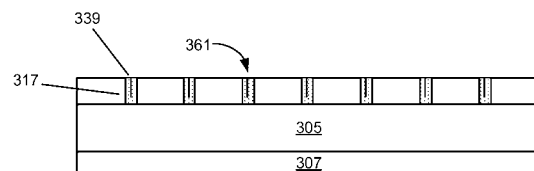


FIG. 3M

【図 3 N】

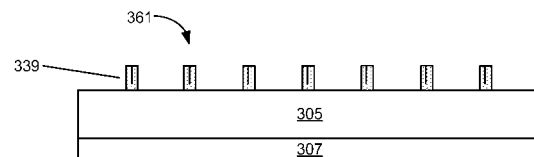


FIG. 3N

【図 3 O】

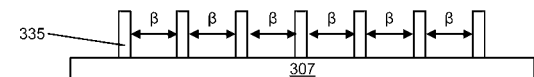


FIG. 3O

【図 3 P】

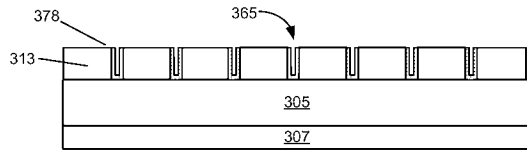


FIG. 3P

【図 3 Q】

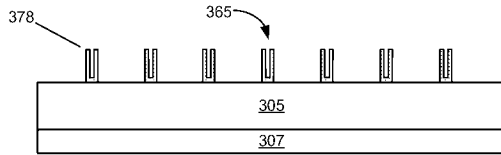


FIG. 3Q

【図 3 R】

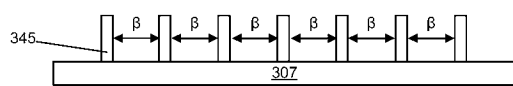


FIG. 3R

【図 4】

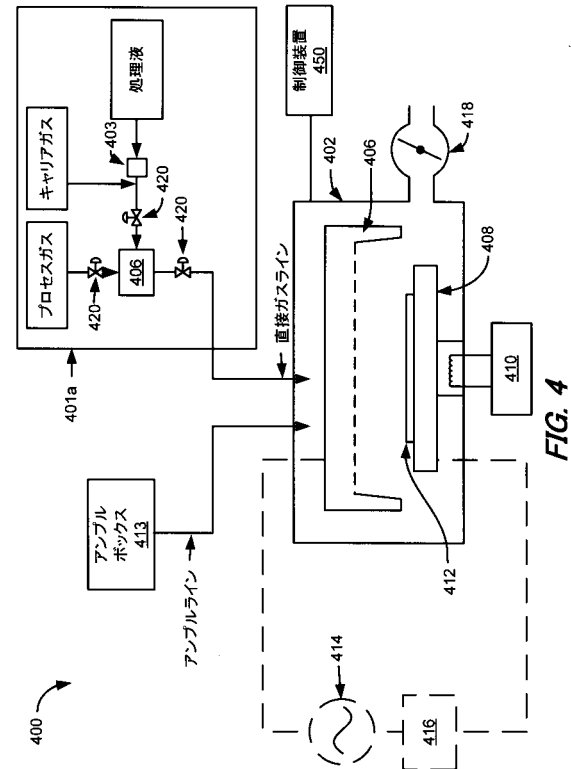


FIG. 4

【図 5】

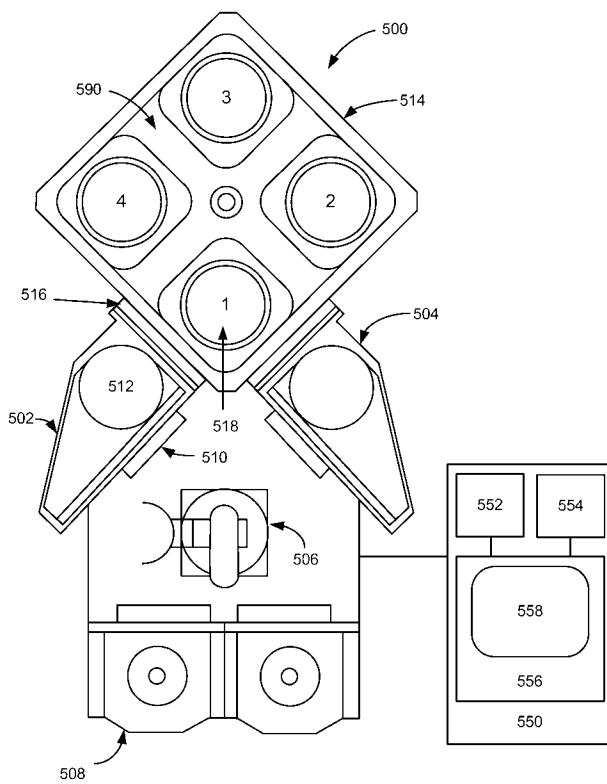


FIG. 5

【図 6】

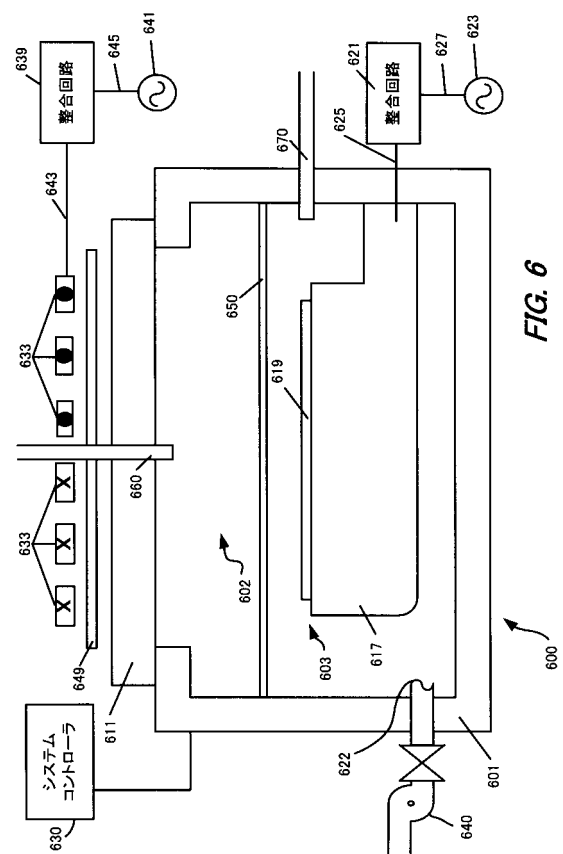


FIG. 6

【 図 7 】

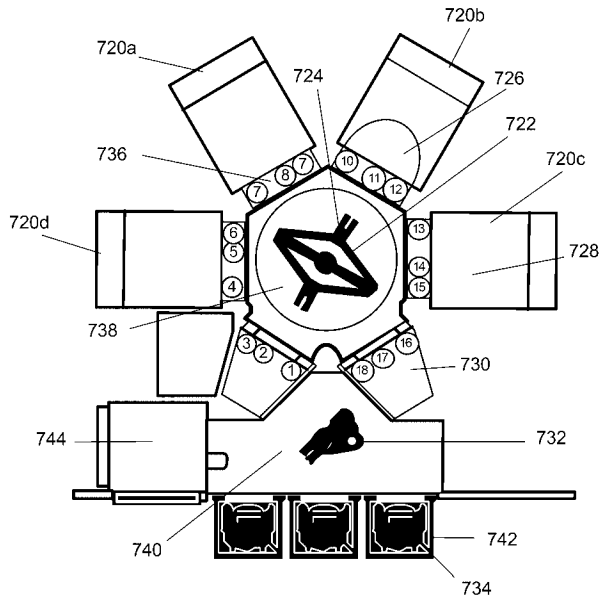


FIG. 7

【 手続補正書 】

【 提出日 】 平成30年3月13日 (2018.3.13)

【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】 特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】 全文

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

基板を処理する方法であって、

ギャップを形成するようにパターニングされたコア材と、ターゲット層とを有する前記基板を提供することと、

ギャップ充填材が前記基板上的の前記ギャップに堆積するように、ギャップ充填材を前記コア材の上に共形に堆積させることと、

前記基板を平坦化して、前記ギャップ充填材および前記コア材を含む平面を形成することと、

前記コア材を選択的にエッチングして、前記ターゲット層をエッチングするためのマスクとして用いられる対称形状のスペーサを形成することとを含む、方法。

【 請求項 2 】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記ギャップ充填材は、原子層堆積によって堆積される、方法。

【 請求項 3 】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記ギャップ充填材は、前記ギャップを完全に充填するには不十分な期間において原子

層堆積によって堆積される、方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記ギャップ充填材は、酸化シリコン、窒化シリコン、炭化シリコン、および、酸化チタンからなる群より選択される、方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記ギャップは、約 $x \times [nm]$ 未満の開口を有し、前記ギャップ充填材は、前記ギャップ充填材を約 $0.4 \times x \times [nm]$ から約 $0.5 \times x \times [nm]$ の間の厚さに堆積させるのに十分な期間において堆積する、方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の方法であって、

x は 50 である、方法。

【請求項 7】

請求項 5 に記載の方法であって、

x は 50 未満である、方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記対称形状のスペーサは、前記ギャップ充填材を含む、方法。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記コア材は炭素を含む、方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、

前記コア材は、スピンオン炭素、ダイヤモンド状炭素、および、ギャップ充填アッシング可能ハードマスクからなる群より選択される、方法。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記ギャップ充填材を堆積させることは、前記基板をシリコン含有前駆体および酸化プラズマの交互パルスに曝露することを含む、方法。

【請求項 12】

基板を処理する方法であって、

マスクを形成するスペーサを含む基板を提供することであって、各スペーサは、前記スペーサの上面に垂直な側壁を備え、前記スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成されることと、

前記ギャップ充填材および前記コア材を平坦化して平面を形成することと、

前記コア材を選択的に除去して、対称形状のスペーサを形成することと、

前記スペーサを前記マスクとして用いてターゲット層をエッチングすることとを含む、方法。

【請求項 13】

方法であって、

マスクを形成するスペーサを含む基板を提供することであって、各スペーサは、 $90 \pm 5^\circ$ の角度で前記スペーサの上面に交わる側壁を備え、前記スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成されることと、

前記ギャップ充填材および前記コア材を平坦化して平面を形成することと、

前記コア材を選択的に除去して、対称形状のスペーサを形成することと、

前記スペーサを前記マスクとして用いてターゲット層をエッチングすることとを含む、方法。

【請求項 14】

方法であって、

ギャップを形成するようにパターニングされたコア材と、ターゲット層とを有する基板を提供することと、

ギャップ充填材が前記基板上の前記ギャップに堆積するように、ギャップ充填材を前記コア材の上に共形に堆積させることと、

前記基板を平坦化して、前記ギャップ充填材および前記コア材を含む平面を形成することと、

前記コア材を選択的にエッチングして、対称形状のスペーサを形成することと、

前記対称形状のスペーサをマスクとして用いて前記ターゲット層をエッチングすることとを含み、

前記対称形状のスペーサは、平坦な上部形状を有し、前記対称形状のスペーサの垂直面が前記対称形状のスペーサの上部水平面から 90° または約 90° に配向されている、方法。

【請求項 15】

方法であって、

ギャップを形成するようにパターニングされたコア材と、ターゲット層とを有する基板を提供することと、

ギャップ充填材が前記基板上の前記ギャップに堆積するように、ギャップ充填材を前記コア材の上に共形に堆積させることと、

前記基板を平坦化して、水平な平坦上部形状を有する前記ギャップ充填材と、前記コア材とを含む平面を形成することと、

前記コア材を選択的にエッチングして、前記ターゲット層をエッチングするためのマスクとして用いられる対称形状のスペーサを形成することとを含む、方法。

【請求項 16】

方法であって、

ギャップを形成するようにパターニングされたコア材と、ターゲット層とを有する基板を提供することと、

ギャップ充填材が前記基板上の前記ギャップに堆積するように、ギャップ充填材を前記コア材の上に共形に堆積させることと、

前記基板を平坦化して、前記ギャップ充填材および前記コア材を含む平面を形成することと、

前記コア材を選択的にエッチングして、前記ターゲット層をエッチングするためのマスクとして用いられる対称形状のスペーサを形成することとを含み、

前記対称形状のスペーサは、前記対称形状のスペーサの上面に実質的に垂直な側壁を有する、方法。

【請求項 17】

請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の方法であって、

前記マスクの対称形状のスペーサ間の臨界寸法は、約 50 nm 未満である、方法。

【請求項 18】

請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の方法であって、

前記対称形状のスペーサは、複数のパターニング技術に用いられる、方法。

【請求項 19】

請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載の方法であって、さらに、

前記ギャップ充填材を堆積させる前に、前記基板上に別の共形膜を堆積させ前記共形膜を異方性エッチングして、前記コア材の前記側壁上に側壁スペーサを形成することを含む、方法。

【請求項 20】

請求項 19 に記載の方法であって、

前記基板を選択的にエッチングして前記対称形状のスペーサを形成することは、前記側壁スペーサに対して選択的に前記コア材および前記ギャップ充填材を除去することを含む

、方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 から 1 6 のいずれか一項に記載の方法であって、

前記基板を選択的にエッチングして前記対称形状のスペーサを形成することは、前記ギャップ充填材に対して選択的に前記コア材を除去することを含む、方法。

【請求項 2 2】

基板をパターニングする装置であって、

1 つ以上のプロセスチャンバと、

前記 1 つ以上のプロセスチャンバおよび関連する流量制御ハードウェアへの 1 つ以上のガス流入口と、

低周波無線周波数 (L F R F) 発生器と、

高周波無線周波数 (H F R F) 発生器と、

少なくとも 1 つのプロセッサおよびメモリを有するコントローラと、を備え、

前記少なくとも 1 つのプロセッサおよび前記メモリは、互いに通信可能に接続され、

前記少なくとも 1 つのプロセッサは、前記流量制御ハードウェア、前記 L F R F 発生器、および、前記 H F R F 発生器と少なくとも動作可能に接続され、

前記メモリは、前記流量制御ハードウェア、前記 H F R F 発生器、および、前記 L F R F 発生器を少なくとも制御するように前記少なくとも 1 つのプロセッサを制御するためのコンピュータ実行可能な命令を記憶して、

ギャップ充填材前駆体の導入を行わせて、ターゲット層を含む基板のコア材の上にギャップ充填材を共形に堆積させ、前記コア材はギャップを形成するようにパターニングされており、前記堆積は前記ギャップ充填材が前記基板上的前記ギャップに堆積するように行われ、

前記基板の平坦化を行わせて、前記ギャップ充填材および前記コア材を含む平面を形成し、

前記コア材の選択的なエッチングを行わせて、前記ターゲット層をエッチングするためのマスクとして用いられる対称形状のスペーサを形成する、装置。

【請求項 2 3】

基板をパターニングする装置であって、

1 つ以上のプロセスチャンバと、

前記 1 つ以上のプロセスチャンバおよび関連する流量制御ハードウェアへの 1 つ以上のガス流入口と、

低周波無線周波数 (L F R F) 発生器と、

高周波無線周波数 (H F R F) 発生器と、

少なくとも 1 つのプロセッサおよびメモリを有するコントローラと、を備え、

前記少なくとも 1 つのプロセッサおよび前記メモリは、互いに通信可能に接続され、

前記少なくとも 1 つのプロセッサは、前記流量制御ハードウェア、前記 L F R F 発生器、および、前記 H F R F 発生器と少なくとも動作可能に接続され、

前記メモリは、前記流量制御ハードウェア、前記 H F R F 発生器、および、前記 L F R F 発生器を少なくとも制御するように前記少なくとも 1 つのプロセッサを制御するためのコンピュータ実行可能な命令を記憶して、

前記 1 つ以上のプロセスチャンバへの基板の搬送を行わせ、前記基板は、マスクを形成するスペーサを含み、各スペーサは、前記スペーサの上面に垂直な側壁を備え、前記スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成され、

前記ギャップ充填材および前記コア材の平坦化を行わせて平面を形成し、

前記コア材の選択的な除去を行わせ、

前記スペーサを前記マスクとして用いてターゲット層のエッチングを行わせる、装置。

。

【請求項 2 4】

基板をパターニングする装置であって、
1つ以上のプロセスチャンバと、
前記1つ以上のプロセスチャンバおよび関連する流量制御ハードウェアへの1つ以上のガス流入口と、
低周波無線周波数（L F R F）発生器と、
高周波無線周波数（H F R F）発生器と、
少なくとも1つのプロセッサおよびメモリを有するコントローラと、を備え、
前記少なくとも1つのプロセッサおよび前記メモリは、互いに通信可能に接続され、
前記少なくとも1つのプロセッサは、前記流量制御ハードウェア、前記H F R F発生器、および、前記L F R F発生器と少なくとも動作可能に接続され、
前記メモリは、前記流量制御ハードウェア、前記H F R F発生器、および、前記L F R F発生器を少なくとも制御するように前記少なくとも1つのプロセッサを制御するためのコンピュータ実行可能な命令を記憶して、
前記1つ以上のプロセスチャンバへの基板の搬送を行わせ、前記基板は、マスクを形成するスペーサを含み、各スペーサは、 $90^\circ \pm 5^\circ$ の角度で前記スペーサの上面に交わる側壁を備え、前記スペーサは、ギャップ充填材をコア材のギャップに共形に堆積させることによって形成され、
前記ギャップ充填材および前記コア材の平坦化を行わせて平面を形成し、
前記コア材の選択的な除去を行わせ、
前記スペーサを前記マスクとして用いてターゲット層のエッチングを行わせる、装置。

【請求項25】

請求項22から24のいずれか一項に記載の装置であって、
前記コントローラは、さらに、前記ギャップ充填材を堆積させる前に前記基板の上に別の共形膜の堆積を行わせるための命令と、前記共形膜の異方性エッチングを行わせて前記コア材の前記側壁上に側壁スペーサを形成するための命令とを含む、装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0045】

図1Hでは、第2の共形膜120が異方的にエッチングされて、パターニングされた第2のコア113の側面に位置する第2のスペーサ121が形成される。図1Iでは、パターニングされた第2のコア113が選択的に除去されて、自立する第2のスペーサ121が残される。ここで、パターニングされた第2のコア113は、図1Dにおいてパターニングされた第1のコア101のエッチングと同様または類似の化学物質を用いてエッチングされてよい。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0046】

図1Jでは、第2のスペーサ121のパターンがターゲット層105に転写されるときは、パターニングされたターゲット層115は、全て異なる値であってよい様々な臨界寸法、および、を有する。スペーサ121の非対称性は、ターゲット層を形成するための不均一なエッチングを招き、それによってピッチウォーキングが起こる。非対称なスペーサ121を用いるターゲット層105のエッチングによって、ターゲット層の斜めエッチングを引き起こすエッチング種のイオン角度分布が起こる。パターニングされたコ

ア材の除去中のドライエッチング条件がシャドーイング効果をもたらすため、このプロセスは部分的にピッチウォーキングを引き起こす。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0060

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0060】

図3Bは、基板の上に共形に堆積されているギャップ充填材395の例示的な概略図を示す。より多くのサイクルが実施されるにつれて、スペーサ321の間のフィーチャは充填され、図3Cに示されるように側壁に堆積した材料が交わる継ぎ目360が形成されてよい。図3Cは、パターニングされたコア材313の上面の上の被りを有するように堆積されたギャップ充填材396を含む。いくつかの実施形態では、図2の動作205におけるギャップ充填材の堆積は、フィーチャをアンダーフィルするように、または、ギャップを完全に充填するには不十分な期間において堆積するように、多数のサイクルで実施されてよい。アンダーフィルについては、図3Hおよび図3Iに関連して以下にさらに説明される。いくつかの実施形態では、完全充填およびアンダーフィル両方の実施形態を示す図3J～図3Oに関連して以下に説明されるように、動作205で堆積されたギャップ充填材は、対称的なスペーサを形成するための材料として用いられる。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0069

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0069】

図3P～図3Rは、ギャップ充填材を対称的なスペーサマスクとして用いながらフィーチャをアンダーフィルするための別の実施形態を提供する。例えば、図3Pの基板は複数サイクルの原子層堆積が施されてフィーチャを部分的に充填することによって、フィーチャ内にギャップ365が残されてよい。基板は図2の動作207によって平坦化されて、ギャップ充填材378のフィールド領域がコア材313のフィールド領域と面一になる平坦面を有する図3Pに示される基板が生成されてよい。図3Qでは、コア材は図2の動作211によって選択的に除去されて、各々がフィーチャのアンダーフィルでいまだギャップ365を備えてよい自立する対称的なスペーサ378が生成される。スペーサ378は、ターゲット層305をパターニングするのに用いられてよく、スペーサ378が対称的であるため、ターゲット層305をエッチングするのに用いられるエッチング種のイオン角度分布は角度エッチングを引き起こさず、そのため一貫した臨界寸法を有するパターニングされたターゲット層345が形成される。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0082

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0082】

いくつかの実施形態では、コントローラ450のための命令は、入出力制御（I/O C）シーケンシング命令によって提供されてよい。一例では、プロセスフェーズの条件を設定するための命令は、プロセスレシピの対応するレシピフェーズに含まれてよい。いくつかの場合では、プロセスフェーズのための全ての命令がそのプロセスフェーズと同時に実行されるように、プロセスレシピフェーズは順次配置されてよい。いくつかの実施形態では、1つ以上のリアクタパラメータを設定するための命令は、レシピフェーズに含まれてよい。例えば、第1のレシピフェーズは、不活性ガスおよび/または反応ガス（例えば、

シリコン含有前駆体などの第 1 の前駆体)の流量を設定するための命令と、キャリアガス(アルゴンなど)の流量を設定するための命令と、第 1 のレシピフェーズのための時間遅延命令とを含んでよい。続く第 2 のレシピフェーズは、不活性ガスおよび/または反応ガスの流量を調節または停止するための命令と、キャリアガスまたはパージガスの流量を調節するための命令と、第 2 のレシピフェーズのための時間遅延命令とを含んでよい。第 3 のレシピフェーズは、酸素などの第 2 の反応ガスの流量を調節するための命令と、キャリアガスまたはパージガスの流量を調節するための命令と、高プラズマエネルギーを有するプラズマを点火するための命令と、第 3 のレシピフェーズのための時間遅延命令とを含んでよい。続く第 4 のレシピフェーズは、不活性ガスおよび/または反応ガスの流量を調節または停止するための命令と、キャリアガスまたはパージガスの流量を調節するための命令と、第 4 のレシピフェーズのための時間遅延命令とを含んでよい。かかるレシピは、対称的なスペースを順次形成するためにパターニングされた基板の上にギャップ充填材を堆積させるのに用いられてよい。いくつかのレシピは、パターニングされた基板をギャップ充填材と共にアンダーフィルするのに用いられてよい。これらのレシピフェーズは、本開示の範囲における任意の適した方法で、さらに細分化および/または反復されてよいことが理解されるだろう。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 1 0

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 1 1 0】

プロセスガスは、上部チャンバに位置する 1 つ以上のメインガス流入口 6 6 0 を通じて、および/または、1 つ以上のサイドガス流入口 6 7 0 を通じて、処理チャンバ内に流入されてよい。同様に、明確には示されていないが、プロセスガスを容量結合プラズマ処理チャンバに供給するのに類似のガス流導入口が用いられてよい。真空ポンプ(例えば、1 段階もしくは 2 段階の機械式ドライポンプ、および/または、ターボ分子ポンプ 6 4 0)は、プロセスガスをプロセスチャンバ 6 0 1 から引き出してプロセスチャンバ 6 0 1 内の圧力を維持するのに用いられうる。例えば、ポンプは、チャンバ 6 0 1 を排気するのに用いられてよい。真空ポンプによって提供された真空環境の適用を選択的に制御するために、弁制御された導管が真空ポンプを処理チャンバに流体接続するのに用いられてよい。これは、プラズマ処理動作中に、絞り弁(図示せず)または振り子弁(図示せず)などの閉ループ制御された流量制御装置を採用することで実行されてよい。同様に、真空ポンプ、および、容量結合プラズマ処理チャンバへの弁制御された流体接続部も採用されてよい。

(51) Int.Cl.

テーマコード（参考）

5 F 0 5 8

C

C 2 3 C 16/04

C 2 3 C 16/42

C 2 3 C 16/505

B

BA40 BA41 BA44 BA46 BB12 CA04 CA12 EA04 FA01 HA01

DD71 HH14

5F004 BA09 BB22 BB23 DA01 DA16 DB03 DB07 DB13 DB23 DB26

DB30

5F033 QQ09 QQ28 QQ48 SS11 XX03

5F045 AA15 AB31 AB32 AB33 DP03 DQ17 EF05 EH05 EK07

5F058 BC02 BC03 BC08 BF04 BF23 BF24 BF27 BF29 BF37

【外国語明細書】
2018085504000001.pdf