

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7565918号  
(P7565918)

(45)発行日 令和6年10月11日(2024.10.11)

(24)登録日 令和6年10月3日(2024.10.3)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 1 L 21/316(2006.01)	H 0 1 L	21/316		X
H 0 1 L 21/31(2006.01)	H 0 1 L	21/31		C
H 0 1 L 21/318(2006.01)	H 0 1 L	21/318		B
H 1 0 B 43/27(2023.01)	H 1 0 B	43/27		
H 0 1 L 21/336(2006.01)	H 0 1 L	29/78	3 7 1	
請求項の数 23 (全19頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号	特願2021-529279(P2021-529279)	(73)特許権者	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド APPLIED MATERIALS, INCORPORATED アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050 3050 Bowers Avenue Santa Clara CA 95054 U.S.A.
(86)(22)出願日	令和1年11月8日(2019.11.8)	(74)代理人	110002077 園田・小林弁理士法人
(65)公表番号	特表2022-509636(P2022-509636A)	(72)発明者	ハン, シンハイ アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054 最終頁に続く
(43)公表日	令和4年1月21日(2022.1.21)		
(86)国際出願番号	PCT/US2019/060610		
(87)国際公開番号	WO2020/112329		
(87)国際公開日	令和2年6月4日(2020.6.4)		
審査請求日	令和4年11月8日(2022.11.8)		
(31)優先権主張番号	62/773,522		
(32)優先日	平成30年11月30日(2018.11.30)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 3D NAND用途のための膜積層体オーバーレイの改善

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に膜層を形成するための方法であって、  
 処理チャンバ内の基板支持体上に基板を位置付けすることと、  
 前記基板の圧縮応力プロファイル又は引張応力プロファイルに従った、前記基板支持体に面する凸面又は基板支持体に面する凹面、を有するシャワーヘッドを通して、前記処理チャンバに、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含む堆積ガス混合物を流すことと、  
 前記シャワーヘッドの中心点の周囲に対称的に配置された前記シャワーヘッドの複数の連結点にRF電力を印加することによって、前記処理チャンバ内の前記堆積ガス混合物の存在下でプラズマを形成することと、  
 前記基板を回転させながら堆積プロセスを実施して、前記基板上に膜層を堆積させることと、  
前記シャワーヘッドの上方に配置された遮断プレートを通じて前記堆積ガス混合物を送達することであって、  
前記基板の中心領域が前記基板のエッジ領域の圧縮応力よりも高い圧縮応力を有する場合、前記遮断プレートの第1の密度を有する中心領域の開孔及び前記遮断プレートの前記第1の密度より低い第2の密度を有するエッジ領域の開孔を通じて前記堆積ガス混合物を流すこと、又は  
前記基板の前記中心領域が前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも低い圧縮応力を有する場合、前記遮断プレートの第3の密度を有する前記中心領域の開孔及び前記遮断プ

レートの前記第 3 の密度より高い第 4 の密度を有する前記エッジ領域の開孔を通じて前記堆積ガス混合物を流すこと

によって、前記堆積ガス混合物を送達することと、  
を含む、方法。

【請求項 2】

前記ケイ素含有ガスが、シラン、ジシラン、四フッ化ケイ素、四塩化ケイ素、ジクロロシラン、及びテトラエチルオルトシリケートのうちの少なくとも一つを含み、かつ前記反応ガスが、酸素含有ガス、窒素含有ガス、及び炭素含有ガスのうちの少なくとも一つを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記堆積プロセス中に前記基板支持体の高さを調整することにより、前記基板にわたる横断方向又は前後方向のプラズマ密度を調節することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記膜層が、第 1 の膜層及び前記第 1 の膜層上に配置された第 2 の膜層を含む膜積層体であり、前記第 1 の膜層及び前記第 2 の膜層が、前記膜積層体に交互にかつ繰り返し形成され、前記膜積層体が、200 μm 未満の局所的な変形の範囲を有する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記基板の前記中心領域が、前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも高い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の外側ゾーンの第 1 の電極を第 1 のインピーダンスで、かつ前記基板の内側ゾーンの第 2 の電極を前記第 1 のインピーダンスよりも高い第 2 のインピーダンスで維持すること、又は

前記基板の前記中心領域が、前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも低い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の前記外側ゾーンの前記第 1 の電極を第 3 のインピーダンスで、かつ前記基板の前記内側ゾーンの前記第 2 の電極を前記第 3 のインピーダンスよりも低い第 4 のインピーダンスで維持すること

によって、前記基板にわたるプラズマ密度を調節すること  
をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

基板上に膜層を形成するための方法であって、

処理チャンバ内の、基板の圧縮応力プロファイル又は引張応力プロファイルに従った、基板支持凹面又は基板支持凸面を有する基板支持体上に前記基板を位置付けすることと、  
シャワーヘッドを通して、前記処理チャンバに、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含む堆積ガス混合物を流すことと、

前記シャワーヘッドの中心点の周囲に対称的に配置された前記シャワーヘッドの複数の連結点に RF 電力を印加することによって、前記処理チャンバ内の前記堆積ガス混合物の存在下でプラズマを形成することと、

前記基板を回転させながら堆積プロセスを実施して、前記基板上に膜層を堆積させることと、

前記シャワーヘッドの上方に配置された遮断プレートを通じて前記堆積ガス混合物を送達することであって、

前記基板の中心領域が前記基板のエッジ領域の圧縮応力よりも高い圧縮応力を有する場合、前記遮断プレートの第 1 の密度を有する中心領域の開孔及び前記遮断プレートの前記第 1 の密度より低い第 2 の密度を有するエッジ領域の開孔を通じて前記堆積ガス混合物を流すこと、又は

前記基板の前記中心領域が前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも低い圧縮応力を有する場合、前記遮断プレートの第 3 の密度を有する前記中心領域の開孔及び前記遮断プレートの前記第 3 の密度より高い第 4 の密度を有する前記エッジ領域の開孔を通じて前記堆積ガス混合物を流すこと

10

20

30

40

50

によって、前記堆積ガス混合物を送達することと、  
を含む、方法。

【請求項 7】

前記堆積プロセス中に前記基板支持体の高さを調整することにより、前記基板にわたる横断方向又は前後方向のプラズマ密度を調節することをさらに含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記膜層が、第 1 の膜層及び前記第 1 の膜層上に配置された第 2 の膜層を含む膜積層体であり、前記第 1 の膜層及び前記第 2 の膜層が、前記膜積層体に交互にかつ繰り返り形成され、前記膜積層体が、200 μm 未満の局所的な変形の範囲を有する、請求項 6 に記載の方法。

10

【請求項 9】

前記基板の前記中心領域が、前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも高い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の外側ゾーンの第 1 の電極を第 1 のインピーダンスで、かつ前記基板の内側ゾーンの第 2 の電極を前記第 1 のインピーダンスよりも高い第 2 のインピーダンスで維持すること、又は

前記基板の前記中心領域が、前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも低い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の前記外側ゾーンの前記第 1 の電極を第 3 のインピーダンスで、かつ前記基板の前記内側ゾーンの前記第 2 の電極を前記第 3 のインピーダンスよりも低い第 4 のインピーダンスで維持すること

20

によって、前記基板にわたるプラズマ密度を調節することをさらに含む、  
請求項 6 に記載の方法。

【請求項 10】

基板上に膜層を形成するための方法であって、

処理チャンバ内の、前記基板の圧縮応力プロファイル又は引張応力プロファイルに従った、基板支持凹面又は基板支持凸面を有する基板支持体上に基板を位置付けすることと、

前記基板の圧縮応力プロファイル又は引張応力プロファイルに従った、前記基板支持体に面する凸面又は前記基板支持体に面する凹面、を有するシャワーヘッドを通して、前記処理チャンバに、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含む堆積ガス混合物を流すことと、

前記シャワーヘッドの中心点の周囲に対称的に配置された前記シャワーヘッドの複数の連結点に RF 電力を印加することによって、前記処理チャンバ内の前記堆積ガス混合物の存在下でプラズマを形成することと、

30

前記基板を回転させながら基板上に膜層を堆積し、かつ前記基板支持体の高さを調整することにより前記基板上方の横断方向又は前後方向のプラズマ密度を調節して、堆積プロセスを実施することと、

前記シャワーヘッドの上方に配置された遮断プレートを通じて前記堆積ガス混合物を送達することであって、

前記基板の中心領域が前記基板のエッジ領域の圧縮応力よりも高い圧縮応力を有する場合、前記遮断プレートの第 1 の密度を有する中心領域の開孔及び前記遮断プレートの前記第 1 の密度より低い第 2 の密度を有するエッジ領域の開孔を通じて前記堆積ガス混合物を流すこと、又は

40

前記基板の前記中心領域が前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも低い圧縮応力を有する場合、前記遮断プレートの第 3 の密度を有する前記中心領域の開孔及び前記遮断プレートの前記第 3 の密度より高い第 4 の密度を有する前記エッジ領域の開孔を通じて前記堆積ガス混合物を流すこと

によって、前記堆積ガス混合物を送達することと、  
を含む、方法。

【請求項 11】

前記膜層が、第 1 の膜層及び前記第 1 の膜層上に配置された第 2 の膜層を含む膜積層体であり、前記第 1 の膜層及び前記第 2 の膜層が、前記膜積層体に交互にかつ繰り返り形成

50

され、前記膜積層体が、 $200\ \mu\text{m}$ 未満の局所的な変形の範囲を有する、請求項10に記載の方法。

【請求項12】

前記基板にわたるプラズマ密度を前記調節することが、  
前記基板の前記中心領域が、前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも高い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の外側ゾーンの第1の電極を第1のインピーダンスで、かつ前記基板の内側ゾーンの第2の電極を前記第1のインピーダンスよりも高い第2のインピーダンスで維持すること、又は

前記基板の前記中心領域が、前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも低い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の前記外側ゾーンの前記第1の電極を第3のインピーダンスで、かつ前記基板の前記内側ゾーンの前記第2の電極を前記第3のインピーダンスよりも低い第4のインピーダンスで維持すること、

を含む、請求項10に記載の方法。

【請求項13】

前記第1の膜層が酸化ケイ素層であり、前記第2の膜層が窒化ケイ素層である、請求項4に記載の方法。

【請求項14】

前記ケイ素含有ガスが、シラン、ジシラン、四フッ化ケイ素、四塩化ケイ素、ジクロロシラン、及びテトラエチルオルトシリケートのうちの少なくとも一つを含み、かつ前記反応ガスが、酸素含有ガス、窒素含有ガス、及び炭素含有ガスのうちの少なくとも一つを含む、請求項6に記載の方法。

【請求項15】

前記第1の膜層が酸化ケイ素層であり、前記第2の膜層が窒化ケイ素層である、請求項8に記載の方法。

【請求項16】

前記ケイ素含有ガスが、シラン、ジシラン、四フッ化ケイ素、四塩化ケイ素、ジクロロシラン、及びテトラエチルオルトシリケートのうちの少なくとも一つを含み、かつ前記反応ガスが、酸素含有ガス、窒素含有ガス、及び炭素含有ガスのうちの少なくとも一つを含む、請求項10に記載の方法。

【請求項17】

前記第1の膜層が酸化ケイ素層であり、前記第2の膜層が窒化ケイ素層である、請求項11に記載の方法。

【請求項18】

基板上に膜層を形成するための方法であって、  
 処理チャンバ内の基板支持体上に基板を位置付けすることと、  
 前記基板の圧縮応力プロファイル又は引張応力プロファイルに従った、前記基板支持体に面する凸面又は基板支持体に面する凹面、を有するシャワーヘッドを通して、前記処理チャンバに、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含む堆積ガス混合物を流すことと、

前記シャワーヘッドの中心点の周囲に対称的に配置された前記シャワーヘッドの複数の連結点にRF電力を印加することによって、前記処理チャンバ内の前記堆積ガス混合物の存在下でプラズマを形成することと、

前記基板を回転させながら堆積プロセスを実施して、前記基板上に膜層を堆積させることと、

前記基板にわたるプラズマ密度を調節することであって、

前記基板の中心領域が、前記基板のエッジ領域の圧縮応力よりも高い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の外側ゾーンの第1の電極を第1のインピーダンスで、かつ前記基板の内側ゾーンの第2の電極を前記第1のインピーダンスよりも高い第2のインピーダンスで維持すること、又は

前記基板の前記中心領域が、前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも低い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の前記外側ゾーンの前記第1の電極を第3のインピーダン

10

20

30

40

50

すで、かつ前記基板の前記内側ゾーンの前記第 2 の電極を前記第 3 のインピーダンスよりも低い第 4 のインピーダンスで維持すること  
 によって、プラズマ密度を調節することと、  
 を含む、方法。

【請求項 19】

前記第 1 の電極は前記第 2 の電極の一部と重なる、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

基板上に膜層を形成するための方法であって、  
 処理チャンバ内の、前記基板の圧縮応力プロファイル又は引張応力プロファイルに従った、基板支持凹面又は基板支持凸面を有する基板支持体上に基板を位置付けすることと、  
 シャワーヘッドを通して、前記処理チャンバに、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含む堆積ガス混合物を流すことと、

前記シャワーヘッドの中心点の周囲に対称的に配置された前記シャワーヘッドの複数の連結点に RF 電力を印加することによって、前記処理チャンバ内の前記堆積ガス混合物の存在下でプラズマを形成することと、

前記基板を回転させながら堆積プロセスを実施して、前記基板上に膜層を堆積させることと、

前記基板にわたるプラズマ密度を調節することであって、

前記基板の中心領域が、前記基板のエッジ領域の圧縮応力よりも高い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の外側ゾーンの第 1 の電極を第 1 のインピーダンスで、かつ前記基板の内側ゾーンの第 2 の電極を前記第 1 のインピーダンスよりも高い第 2 のインピーダンスで維持すること、又は

前記基板の前記中心領域が、前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも低い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の前記外側ゾーンの前記第 1 の電極を第 3 のインピーダンスで、かつ前記基板の前記内側ゾーンの前記第 2 の電極を前記第 3 のインピーダンスよりも低い第 4 のインピーダンスで維持すること

によって、プラズマ密度を調節することと、  
 を含む、方法。

【請求項 21】

前記第 1 の電極は前記第 2 の電極の一部と重なる、請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

基板上に膜層を形成するための方法であって、  
 処理チャンバ内の、基板の圧縮応力プロファイル又は引張応力プロファイルに従った、基板支持凹面又は基板支持凸面を有する基板支持体上に前記基板を位置付けすることと、  
 前記基板の圧縮応力プロファイル又は引張応力プロファイルに従った、前記基板支持体に面する凸面又は前記基板支持体に面する凹面、を有するシャワーヘッドを通して、前記処理チャンバに、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含む堆積ガス混合物を流すことと、

前記シャワーヘッドの中心点の周囲に対称的に配置された前記シャワーヘッドの複数の連結点に RF 電力を印加することによって、前記処理チャンバ内の前記堆積ガス混合物の存在下でプラズマを形成することと、

前記基板を回転させながら堆積プロセスを実施して前記基板上に膜層を堆積させ、前記基板支持体の高さを調整することにより前記基板にわたる横断方向又は前後方向のプラズマ密度を調節することと、

を含み、

前記基板にわたる前記横断方向又は前後方向のプラズマ密度を調節することが、

前記基板の中心領域が、前記基板のエッジ領域の圧縮応力よりも高い圧縮応力を有する場合、前記基板支持体の外側ゾーンの第 1 の電極を第 1 のインピーダンスで、かつ前記基板の内側ゾーンの第 2 の電極を前記第 1 のインピーダンスよりも高い第 2 のインピーダンスで維持すること、又は

前記基板の前記中心領域が、前記基板の前記エッジ領域の圧縮応力よりも低い圧縮応力

10

20

30

40

50

を有する場合、前記基板支持体の前記外側ゾーンの前記第 1 の電極を第 3 のインピーダンスで、かつ前記基板の前記内側ゾーンの前記第 2 の電極を前記第 3 のインピーダンスよりも低い第 4 のインピーダンスで維持すること、を含む、  
方法。

【請求項 2 3】

前記第 1 の電極は前記第 2 の電極の一部と重なる、請求項 2 2 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001] 本開示の実施態様は、概して、基板処理中の膜応力の不均一性によってもたらされる膜積層体のオーバーレイの問題を低減するための処理チャンバ及び方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

[0002] 垂直統合デバイスを製造する中で長い間認識されてきた課題は、製造プロセス中にもたらされる基板と層積層体の歪みを低減することである。プラズマエッチング又はプラズマ堆積プロセス中の熱膨張、プラズマ不均一性分布、及び/又はプラズマ密度の違いにより、一つの層と次の層の間にさまざまな膜応力が作成される場合があり、その結果、基板表面の局所的な変形、及び望ましくないオーバーレイエラーが生じる。オーバーレイエラーが生じるとき、基板上に形成されたデバイスダイのサイズ、寸法、又は構造は不規則に変形し又は歪む場合があり、したがってその上に積み重ねられた膜層間の不整合の可能性を高め、それはその後の製造プロセスにおける不整合の可能性を不利に高める場合がある。

20

【発明の概要】

【0003】

[0003] 一実施態様では、基板上に膜層を形成するための方法が提供される。この方法は、処理チャンバ内の基板支持体上に基板を位置付けすることと、基板の応力プロファイルに従った、基板支持体に面する凸面又は基板支持体に面する凹面、を有するシャワーヘッドを通して、処理チャンバに、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含む堆積ガス混合物を流すことと、シャワーヘッドの中心点の周囲に対称的に配置されたシャワーヘッドの複数の連結点に RF 電力を印加することによって、処理チャンバ内の堆積ガス混合物の存在下でプラズマを形成することと、基板を回転させながら堆積プロセスを実施して、基板上に薄膜を堆積させることとを含む。

30

【0004】

[0004] 別の実施態様では、この方法は、処理チャンバ内の基板支持体上に基板を位置付けすることと、基板支持体が、基板の応力プロファイルに従った、基板支持凹面又は基板支持凸面、を有する基板を位置付けすることと、シャワーヘッドを通して、処理チャンバに、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含む堆積ガス混合物を流すことと、シャワーヘッドの中心点の周囲に対称的に配置されたシャワーヘッドの複数の連結点に RF 電力を印加することによって、処理チャンバ内の堆積ガス混合物の存在下でプラズマを形成することと、基板を回転させながら堆積プロセスを実施して、基板上に膜層を堆積させることとを含む。

40

【0005】

[0005] 別の実施態様では、この方法は、処理チャンバ内の基板支持体上に基板を位置付けすることと、基板支持体が、基板の応力プロファイルに従った、基板支持凹面又は基板支持凸面、を有する基板を位置付けすることと、基板の応力プロファイルに従った、基板支持体に面する凸面又は基板支持体に面する凹面、を有するシャワーヘッドを通して、処理チャンバに、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含む堆積ガス混合物を流すことと、シャワーヘッドの中心点の周囲に対称的に配置されたシャワーヘッドの複数の連結点に RF 電力を印加することによって、処理チャンバ内の堆積ガス混合物の存在下でプラズ

50

マを形成することと、基板を回転させて基板上に膜層を堆積させ、かつ基板支持体の高さを調整することにより基板上方の横断方向又は前後方向のプラズマ密度を調節しながら、堆積プロセスを実施することを含む。

【 0 0 0 6 】

[ 0 0 0 6 ]本開示の上述の特徴を詳細に理解することができるように、上記で簡単に要約された本開示のより具体的な説明は、実施態様を参照することによって、得ることができる。そのうちのいくつかの実施態様は添付の図面で例示されている。しかしながら、添付の図面は例示的な実施態様を示しているに過ぎず、したがって、その範囲を限定するものとみなされるべきではなく、本開示は他の同等に有効な実施態様を許容し得ることに留意されたい。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

【図 1】 [ 0 0 0 7 ] 一又は複数の実施態様による処理チャンバの概略断面図である。

【図 2 A - B】 [ 0 0 0 8 ] 一又は複数の実施態様によるシャワーヘッドの概略断面図である。

【図 3 A - B】 [ 0 0 0 9 ] 一又は複数の実施態様による基板支持体の概略断面図である。

【図 4】 [ 0 0 1 0 ] 一実施態様によるシャワーヘッドの概略上面図である。

【図 5】 [ 0 0 1 1 ] 一又は複数の実施態様による膜層を形成するための方法を示す。

【図 6 A - B】 [ 0 0 1 2 ] 図 5 の方法による基板上の膜層の断面図である。

【図 7】 [ 0 0 1 3 ] 一又は複数の実施態様による階段状の構造体の断面図である。

20

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 8 】

[ 0 0 1 4 ]理解を容易にするために、可能な場合には、図に共通する同一の要素を指し示すのに同一の参照番号を使用した。一実施態様の要素及び特徴は、さらなる記述がなくても、他の実施態様に有益に組み込むことができると考えられている。

【 0 0 0 9 】

[ 0 0 1 5 ]本開示の実施態様は、一連の堆積及びリソグラフィ曝露プロセス後のオーバーレイエラーへの寄与が最小限であり得る、膜層を堆積させるための装置及び方法を説明する。一実施態様では、堆積方法は、基板上に形成された各膜層に一貫した膜応力を提供するように、膜層表面全体に最小限の応力変動又は面内歪み ( I P D ) を有する膜層を形成し得る。したがって、一連の堆積及びリソグラフィ曝露プロセスからのすべての膜層を統合して半導体デバイスを形成するとき、オーバーレイエラーを最小限に抑えるか又は排除することができる。

30

【 0 0 1 0 】

[ 0 0 1 6 ]図 1 は、一又は複数の実施態様による処理チャンバ 1 0 0 の概略断面図である。処理チャンバ 1 0 0 は、酸化物と窒化物の層が交互になっている積層体又は酸化物と多結晶シリコンの層が交互になっている積層体などの誘電体膜積層体を堆積させるのに利用されるプラズマ化学気相堆積 ( P E C V D ) であり得る。図 1 に示すとおり、処理チャンバ 1 0 0 は、チャンバ壁 1 0 2 と、チャンバ壁 1 0 2 内に配置された基板支持体 1 0 4 と、チャンバ壁 1 0 2 内に配置されたシャワーヘッド ( 例えば、ガス分布プレート ) 1 0 6 とを含む。基板支持体 1 0 4 は、シャワーヘッド 1 0 6 の下に配置され、基板 1 0 8 を支持するように構成されている。基板 1 0 8 は、ダミーウエハ又は製造ウエハであり得る。スリットバルブ開口部 1 5 2 は、基板 1 0 8 などの一又は複数の基板をロード又はアンロードするためにチャンバ壁に形成され得る。真空ポンプ 1 1 1 は、処理チャンバ 1 0 0 の底部に連結されて、処理チャンバ 1 0 0 を排気する。バルブ 1 1 3 は、選択的に開閉されて、真空ポンプ 1 1 1 内の真空度を制御し得る。

40

【 0 0 1 1 】

[ 0 0 1 7 ]操作中、基板支持体 1 0 4 は、その上に配置された基板 1 0 8 を回転させるために、回転し得る。基板支持体 1 0 4 の回転は、一方向 ( 時計回り又は反時計回りのいずれか ) における連続回転であり得るか、又は 1 8 0 度回転した後に回転方向を変更す

50

るなど、反対方向において振動し得る。基板支持体 104 の回転は、堆積された膜積層体の厚さ均一性を改善することができる。いくつかの実施態様では、基板支持体 104 は、高温処理のために、最高 700 などの高温に加熱され得る。

#### 【0012】

[0018] RF 電源 107 は、遮断プレート 140 に連結されており、遮断プレート 140 はシャワーヘッド 106 の上に配置されている。遮断プレート 140 及びシャワーヘッド 106 は共に、処理チャンバ 100 のガス混合空間 142 (遮断プレート 140 とシャワーヘッド 106 との間) 及び反応空間 144 (遮断プレート 140 と基板支持体との間 104) を画定する。複数の開孔 146 が遮断プレート 140 を通って形成される。

#### 【0013】

[0019] シャワーヘッド 106 は、基板支持体 104 に面する第 1 の表面 114 と、第 1 の表面 114 に対向する第 2 の表面 116 とを含む。複数のガス通路 115 は、第 1 の表面 114 から第 2 の表面 116 に延在するシャワーヘッド 106 に形成される。シャワーヘッド 106 は、基板支持体 104 を覆うサイズである。シャワーヘッド 106 は通常、ステンレス鋼、アルミニウム (Al)、陽極酸化アルミニウム、ニッケル (Ni) 又はその他 RF 導電性材料から製造される。シャワーヘッド 106 は、鋳造、ろう付け、鍛造、熱間静水圧プレス、又は焼結され得る。シャワーヘッド 106 は、円形、又は長方形若しくは正方形などの多角形であり得る。

#### 【0014】

[0020] ガス源 110 は、一又は複数の処理ガスを処理チャンバ 100 中へ送達するために遮断プレート 140 に連結され得る。遠隔プラズマ源 112 も、解離フッ素などの洗浄剤を処理チャンバ 300 中に送達して、堆積副生成物及び膜をシャワーヘッド 106 などの処理チャンバハードウェアから除去するために、シャワーヘッド 106 に連結され得る。

#### 【0015】

[0021] さまざまなアプローチが処理チャンバ 100 中で用いられて、基板上の膜積層体の処理に起因する面内歪み (IPD) を最小限に抑えるか又は排除し得る。IPD は径方向の歪み及び/又は平面の歪みを含む。本明細書で使用される場合の径方向の歪みとは、基板の所要の半径に沿った点の間の歪みを指し、これは、2つの対象点を原点とする歪みベクトルの歪みの動径成分間の差を計算することによって決定され得る。本明細書で使用される場合の平面の歪みとは、基板の小さな領域で又は表面全体にわたって生じ得る、膨張歪み、回転歪み、及び並進歪みを指す。以下で説明するさまざまなアプローチを使用して、酸化物層と窒化物の層が交互になった積層体などの膜積層体の径方向の歪み及び/又は平面の歪みを低減することができる。

#### 【0016】

[0022] プロファイルされた電極は基板 108 上の膜積層体の径方向の歪みを低減又は排除するのに使用され得ることが観察された。いくつかの実施態様では、シャワーヘッド 106 及び基板支持体 104 は、基板 108 にわたるプラズマ密度を調整するための曲率を有する。いくつかの実施態様では、シャワーヘッド 106 及び基板支持体 104 は、互いに異なる曲率を有する。図 2A 及び 2B は、シャワーヘッド 206 の概略断面側面図である。

#### 【0017】

[0023] 基板 108 の中心が基板 108 のエッジよりも引張応力を有することが観察されるとき、酸化物と窒化物の層が交互になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理中に、凸型シャワーヘッド及び/又は凹型基板支持体を使用して、シャワーヘッド 106 と基板支持体 104 との間の間隔 D1 を変更してもよい。さまざまな実施態様では、間隔 D1 は、約 10 mil から約 30 mil の間の範囲、例えば約 15 mil であり得る。シャワーヘッド 106 と基板支持体 104 との間の間隔 D1 は、基板 108 にわたるプラズマ密度を変更する場合があります、それにより、基板 108 の中心はより圧縮される。例えば、図 2A に示すシャワーヘッド 206 は、図 1 のシャワーヘッド 106 の代わりに使用

10

20

30

40

50

され得る。この実施態様では、シャワーヘッド206は、基板支持体（図示せず、図1の基板支持体104など）に面する第1の表面204と、第1の表面204に対向する第2の表面208とを有する。シャワーヘッド206は、第1の表面204から第2の表面208に延在するシャワーヘッド206に形成される複数のガス通路207をさらに含む。図1に示す平面の第1の表面114とは異なり、図2Aに示すとおり、第1の表面204は、凸面などの曲率を有し得る。凸型の第1の表面204では、第1の表面204の中心領域は、第1の表面204のエッジ領域よりも、基板支持体104又は基板108に近い。シャワーヘッド206の凸面は、中心領域の間隔D1を低減することができ、これは、次に、基板108の中央領域でプラズマ密度を増加させる。結果として、基板108の中心は、基板108によって最初にもたらされた引張応力のバランスをとるために、より圧縮され得る。したがって、基板108上の膜積層体のIPD/オーバーレイエラーは低減される。

10

#### 【0018】

[0024] 追加的に又は代替的に、図3Aに示す基板支持体304などの基板支持体は、図3Aに示すとおり、凹面306などの曲率を有し得る。基板支持体304は、図1の基板支持体104の代わりに使用され得る。凹面306では、凹面306の中心領域は、凹面306のエッジ領域よりも、シャワーヘッド（図示せず、図1のシャワーヘッド106など）から離れている。したがって、基板108の中心領域のプラズマ密度を低減するために、中心領域の間隔D1は増加される。基板108の中心は、基板108によって最初にもたらされた引張応力のバランスをとるために、より圧縮される可能性がある。基板支持体304の凹面306は、基板108上の膜積層体のIPD/オーバーレイエラーを低減するか又は最小限に抑えるために、図2A及び2Bのシャワーヘッド206、210のいずれかと連携してプラズマ密度を制御することができると想定される。

20

#### 【0019】

[0025] 基板108の中心が基板108のエッジよりも圧縮応力を有することが観察されるとき、酸化物と窒化物の層が交互になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理中に、凹型シャワーヘッド及び/又は凸型基板支持体を使用して、シャワーヘッド106と基板支持体104との間の間隔D1を変更してもよい。シャワーヘッド106と基板支持体104との間の間隔D1は、基板108にわたるプラズマ密度を変更する場合があります。それにより、基板108の中心の圧縮性は低くなる。例えば、図2Bに示すシャワーヘッド210は、図1のシャワーヘッド106の代わりに使用され得る。この実施態様では、シャワーヘッド210は、基板支持体（図示せず、図1の基板支持体104など）に面する第1の表面212と、第1の表面212に対向する第2の表面214とを含む。第1の表面212は、図2Bに示すとおり、凹面などの曲率を有し得る。凹型の第1の表面212では、第1の表面212の中心領域は、第1の表面212のエッジ領域よりも、基板支持体104、又は基板108から離れている。シャワーヘッド210の凹面は、中心領域の間隔D1を減少させることができ、これは、次に、基板108の中央領域でプラズマ密度を低下させ得る。結果として、基板108の中心は、基板108によって最初にもたらされたより高い圧縮応力のバランスを取るために、圧縮性が低くなる可能性がある。したがって、基板108上の膜積層体のIPD/オーバーレイエラーは低減される。

30

40

#### 【0020】

[0026] 追加的に又は代替的に、図3Bに示す基板支持体308などの基板支持体は、図3Bに示すとおり、凸面310などの曲率を有し得る。基板支持体308は、図1の基板支持体104の代わりに使用され得る。凸面310では、凹面306の中心領域は、凸面310のエッジ領域よりも、シャワーヘッド（図示せず、図1のシャワーヘッド106など）に近い。したがって、基板108の中心領域のプラズマ密度を低減するために、中心領域の間隔D1は減少される。基板108の中心は、基板108によって最初にもたらされたより高い圧縮応力のバランスを取るために、圧縮性が低くなる可能性がある。基板支持体308の凸面310は、基板108上の膜積層体のIPD/オーバーレイエラーを低減するか又は最小限に抑えるために、図2A及び2Bのシャワーヘッド206、2

50

10のいずれかと連携してプラズマ密度を制御することができると想定される。

【0021】

[0027] 本開示に記載される他の実施態様のいずれかを含むことができるか又はそれらと組み合わせることができるいくつかの実施態様では、酸化物と窒化物の層が交互になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理中に、基板支持体104は、基板108に放射状にわたったプラズマ密度を調節するために二つ以上の電極を含み得る。例えば、図1に示す実施態様では、第1の電極120は、基板支持体104内に組み込まれてもよく、又は、基板支持体104の表面に連結されてもよい。第1の電極120は、プレート、穿孔されたプレート、メッシュ、ワイヤスクリーン、又は導電素子の他の任意の分散構成物であってもよい。第2の電極122は、基板支持体104内に組み込まれてもよく、又は、基板支持体104の表面に連結されてもよい。同様に、第2の電極122は、プレート、穿孔されたプレート、メッシュ、ワイヤスクリーン、又は導電素子の他の任意の分散構成物であってもよい。一実施態様では、第1の電極及び第2の電極120、122はどちらもメッシュである。第1の電極120は、第1の高さで基板支持体104全体に膨張し得る。第1の電極120は、基板108の直径に等しい長さを有し得る。第2の電極122は、第1の高さとは異なる第2の高さで基板支持体104のエッジ領域に配置され得る。他の実施態様と組み合わせられ得る一実施態様では、第2の高さは第1の高さよりも高い。他の実施態様と組み合わせられ得る一実施態様では、第2の高さは第1の高さよりも低い。第2の電極122は、第1の電極120の放射状外側に配置されており、第1の電極120の一部に重なる場合と重ならない場合がある。

10

20

【0022】

[0028] 第1の電極120は、コンダクト126、例えば、基板支持体104のシャフト128中に配置されたケーブルによって、電源124に連結されている。インピーダンス整合回路などの第1のコントローラ130は、電源124と第1の電極120との間に配置されて、基板支持体104の内側ゾーンで第1の電極120のインピーダンスを独立して制御し得る。電源124は、DC電力、パルスDC電力、RFバイアス電力、パルスRF源又はバイアス電力、又はそれらの組み合わせであり得る。第2の電極122は、コンダクト134、例えば、基板支持体104のシャフト128中に配置されたケーブルによって、電源132に連結されている。インピーダンス整合回路などの第2のコントローラ136は、電源132と第2の電極122との間に配置されて、基板支持体104の外側ゾーンで第2の電極122のインピーダンスを独立して制御し得る。外側ゾーンは内側ゾーンを取り囲み、基板のエッジから基板支持体104のエッジまでの領域を覆う径方向の距離を有し得る。内側ゾーンは、基板の直径に少なくとも等しい径方向の距離を有し得る。電源132は、DC電力、パルスDC電力、RFバイアス電力、パルスRF源又はバイアス電力、又はそれらの組み合わせであり得る。第1の電極120及び第2の電極122は、このようにインピーダンスを独立して制御することができる。

30

【0023】

[0029] 基板108の中心が基板108のエッジよりも多くの圧縮応力を有することが観察されるとき、第2のコントローラ136は、酸化物と窒化物の層が交互になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理中に外側ゾーンの第2の電極122のインピーダンスが内側ゾーンのインピーダンスよりも低くなるように、構成され得る。あるいは、第1のコントローラ130は、外側ゾーンのインピーダンスよりも内側ゾーンのインピーダンスが高くなるように構成され得る。どちらの場合でも、基板支持体104の外側ゾーンの方がインピーダンスが低いことにより、より多くのプラズマが外側ゾーンに連結することになり、エッジ領域でより高い圧縮応力を有する基板108がもたらされる可能性がある。したがって、基板108全体の応力の均一性が達成され、それにより基板108上の膜積層体の径方向の歪みが低減又は排除される。

40

【0024】

[0030] 同様に、基板108の中心が基板108のエッジよりも少ない圧縮応力を有することが観察されるとき、第2のコントローラ136は、酸化物と窒化物の層が交互

50

になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理中に外側ゾーンの第2の電極122のインピーダンスが内側ゾーンのインピーダンスよりも高くなるように、構成され得る。あるいは、第1のコントローラ130は、外側ゾーンのインピーダンスよりも内側ゾーンのインピーダンスが低くなるように構成され得る。どちらの場合でも、基板支持体104の外側ゾーンの方がインピーダンスが高いことにより、より少ないプラズマが外側ゾーンに連結することになり、エッジ領域でより低い圧縮応力を有する基板108がもたらされる可能性がある。したがって、基板108全体の応力の均一性が達成され、それにより基板108上の膜積層体の径方向の歪みが低減又は排除される。

#### 【0025】

[0031] 本開示に記載される他の実施態様のいずれかを含むことができるか又はそれらと組み合わせることができるいくつかの実施態様では、酸化物と窒化物の層が交互になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理中に、遮断プレート140の開孔146は、堆積速度を調節するように構成されていてもよい。基板108の中心が基板108のエッジよりも多くの圧縮応力を有することが観察されるとき、図1に示すとおり、遮断プレート140は、遮断プレート140のエッジ領域の開孔よりも、中心領域で多くの開孔146を有し得る。例えば、中心領域の開孔146は第1の密度を有する場合があります、エッジ領域の開孔146は第2の密度を有する場合があります、第2の密度に対する第1の密度の比は、約1.2:1から約5:1、例えば約1.5:1から約3:1であり得る。

10

#### 【0026】

[0032] 開孔146の密度は、第1の表面148（基板支持体104に面する）の開孔146の開口部により画定された総面積を、測定領域中の遮断プレート140の第1の表面148の総面積で除することにより、計算することができる。遮断プレート140の中心領域の開孔146の密度は、約10%から約100%、例えば約60%から約100%の範囲であり得る。中心領域におけるガス流を増加させるため、開孔146の密度はエッジ領域よりも中心領域において高い。中心領域からエッジ領域への密度の変化は、均一で滑らかな堆積及び膜特性プロファイルを確保するために、段階的で滑らかである必要がある。遮断プレート140の中心の開孔146の密度が高いことにより、ガス混合空間142の中心領域におけるガス流を増加させることができ、よって、反応空間144の中心領域におけるガス流及びプラズマ密度を増加させる。したがって、膜積層体は、基板108の中心領域で高い堆積速度を有することになる。基板108の中心領域で高い堆積速度を有することにより、基板108の中心は、基板108のエッジよりも圧縮性が低くなる場合がある。結果として、基板108上の膜積層体のIPD（例えば、径方向の歪み）及びオーバーレイエラーは、低減されるか又は最小限に抑えられる。

20

30

#### 【0027】

[0033] 基板108の中心が基板108のエッジよりも少ない圧縮応力を有することが観察されるとき、遮断プレート140は、遮断プレート140のエッジ領域の開孔よりも、中心領域で少ない開孔146を有し得る。例えば、中心領域の開孔146は第1の密度を有する場合があります、エッジ領域の開孔146は第2の密度を有する場合があります、第2の密度に対する第1の密度の比は、約1:1.2から約1:5、例えば約1:1.5から約1:3であり得る。

40

#### 【0028】

[0034] この実施態様では、遮断プレート140の中心領域の開孔146の密度は、約10%から約100%、例えば約10%から約40%の範囲であり得る。開孔146の密度はエッジ領域よりも中心領域において低く、これは中心領域におけるガス流を減少させる。中心領域からエッジ領域への密度の変化は、均一で滑らかな堆積及び膜特性プロファイルを確保するために、段階的で滑らかである必要がある。遮断プレート140の中心の開孔146の密度が低いことにより、ガス混合空間142の中心領域におけるガス流を減少させることができ、よって、反応空間144の中心領域におけるガス流及びプラズマ密度を低下させる。したがって、膜積層体は、基板108の中心領域で低い堆積速度を有することになる。基板108の中心領域で低い堆積速度を有することにより、基板10

50

8の中心は、基板108のエッジよりも圧縮性が高くなる可能性がある。結果として、基板108上の膜積層体のIPD（例えば、径方向の歪み）/オーバーレイエラーは、低減されるか又は最小限に抑えられる。

【0029】

[0035]開孔146の密度の設計コンセプトは、中心からエッジへの均一性を改善するためにガス通路115の設計にも適用され得る。

【0030】

[0036]さまざまな実施態様では、整合ネットワーク154は、処理チャンバ100の上部の上方に配置され得る。整合ネットワーク154は、伝送線156により高周波（RF）電源158に電氣的に連結され得る。RF電力は、RF電源158によって生成され、RF供給部160によってシャワーヘッド106に印加される。RF供給部160は、整合ネットワーク154に電氣的に連結された第1の端部162と、シャワーヘッド106に電氣的に連結された第2の端部164とを有し得る。RF供給部160は、銅ストリップなどの可撓性の導電性材料でできている場合がある。以下でさらに詳細に説明するとおり、RF供給部160の第2の端部164は、プラズマの不均一性を低減させるために、シャワーヘッド106上の異なる位置に連結され得る。

10

【0031】

[0037]図4は、一実施態様によるシャワーヘッド406の概略上面図である。シャワーヘッド406は、図1のシャワーヘッド106の代わりに使用され得る。図4に示す通り、シャワーヘッド406は、円形である場合があり、基板支持体104（図1）から離れて面する上面408を有する。複数の連結点410a、410b、410c、410dは、シャワーヘッド406の上面408上に位置し得る。各連結点410a - 410dは、図1に示されるRF供給部160の第2の端部（例えば第2の端部164）を固定するために用いられ得る。連結点410a - 410dは、シャワーヘッド406の中心点412に対して対称であるシャワーヘッド406の位置に配置される。RF電源402は、酸化物と窒化物の層が交互になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理中、伝送線（併せて414と標記）を介して多数の位置で連結点に電氣的に連結される。整合ネットワーク403（例えば、整合ネットワーク154）は、RF電源402と連結点410a - 410dとの間に配置され得る。連結点410a - 410dは、対称的に配置されて、基板108（図1）にわたるプラズマの不均一性を改善する。結果として、IPDの残留する不均一性が低減される。

20

30

【0032】

[0038]4つの連結点410a - 410dを図4に示しているが、多かれ少なかれ連結点が想定されている。一実施態様では、6つの連結点を用いられる。別の実施態様では、8つの連結点を用いられる。さらに別の実施態様では、単一の連結点を用いられ、シャワーヘッド406の中心に配置され得る。複数の連結点を使用されるとき、連結点は、シャワーヘッド106で対称的に配置されて、基板108上の膜積層体の平面及び/又は残留する歪みを低減又は排除し得る。本明細書に記載されるコンセプトは、RF電力が基板支持体に連結される場合、基板支持体にも適用することができると想定される。そのような場合、一又は複数のRF供給物は、基板支持体104の複数の位置の電極（例えば、図1に示す第1及び/又は第2の電極120、122）に連結し得る。

40

【0033】

[0039]基板処理中の基板108上の膜積層体の平面及び/又は残留する歪みを低減又は排除するのを助けるために、他の手法も使用され得る。例えば、図1に示すとおり、調整デバイス170、172が基板支持体104の底部に取り付けられ得る。調整デバイス170、172は、シャフト128の長手方向を通過する中心軸（図示せず）に対して対称的に配置され得る。調整デバイス170、172は、処理チャンバ100の底部を通過して延在する場合があり、基板処理中、処理前、又は処理後に、回転して、基板支持体104のレベリングを調整する。調整デバイス170、172は、基板支持体104の高さを調整するのに適した任意のデバイス又は機構であり得る。基板支持体104のレベリ

50

ングは、基板 108 にわたる横断方向又は前後方向のプラズマ密度を調節するために変更することができる。結果として、膜積層体の均一な左右の応力プロファイルが得られる。

【0034】

[0040] 本開示の任意の他の実施態様を含むことができるか又はそれらと組み合わせることができるいくつかの実施態様では、酸化物と窒化物の層が交互になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理中に、膜積層体の平面歪みは、基板支持体 104 を回転させることにより低減又は排除され得る。基板支持体 104 の回転は、一方向における連続回転であり得るか、又は 180 度回転した後に回転方向を変更するなど、反対方向において振動し得る。一実施態様では、膜積層体の堆積は、2 つの堆積プロセスに分割され、基板 108 は 180 度回転して、IPD 平面歪みを排除する。例えば、膜積層体は、合計約 2 から 90 対の酸化物層と窒化物層を含み得る。膜積層体の前半（例えば、1 から 45 対の酸化物層と窒化物層）が堆積されて、基板支持体 104 が固定される場合があり、膜積層体の後半（例えば、46 から 90 対の酸化物層と窒化物層）が堆積されて、基板支持体 104 が 180 度回転し、それにより、IPD 歪みによって引き起こされる膜堆積プロファイルの差を相殺する場合がある。結果として、堆積された膜積層体の厚さ均一性は改善される。

10

【0035】

[0041] 本明細書に記載のコンセプトは、多数の堆積プロセスに等しく適用され得ることが想定される。例えば、膜積層体の堆積は、3 つの堆積プロセスに分割され、基板 108 は 120 度回転する可能性がある。あるいは、膜積層体の堆積は、4 つの堆積プロセスに分割され、基板 108 は 90 度回転する可能性があるといったことである。

20

【0036】

[0042] シャワーヘッド 106 又は電極の大面積により、それらに印加される RF 電圧は、プラズマを歪ませる干渉縞を有し得る。干渉縞の例は、定在波である。定在波は、シャワーヘッド 106 などの電極の中心で又は中心近くで生じ得る。プラズマは、定在波効果又は干渉縞により均一に分布されていないため、基板 108 上に堆積された膜積層体は、基板 108 全体で均一な厚さを有しない場合がある。結果として、膜応力の均一性が損なわれる。

【0037】

[0043] プラズマ均一性を改善するために、酸化物と窒化物の層が交互になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理中に、RF 電力が低周波 RF でシャワーヘッド 106 などの電極に印加され得る。低 RF 周波数は、約 0.3 MHz から約 60 MHz、例えば約 13.56 MHz から約 40 MHz の範囲にあり得る。一実施態様では、低 RF 周波数は約 14 MHz から約 27 MHz である。低 RF 周波数を使用することにより、短い波長での RF 電力の伝送がもたらされ得る。例えば、13.56 MHz の RF は 22 メートルの波長に相当し、27 MHz の RF は 11 メートルの波長に相当する。より短い波長で送達される RF 電力は、シャワーヘッド 106 に匹敵するか、又は同じ程度であることがわかる。結果として、シャワーヘッド 106 の中心又は中心近くで生じる定在波効果又は干渉縞は軽減され得る。

30

【0038】

[0044] 低 RF 周波数の RF 電力は、上記のようにシャワーヘッド 106 上に配置された連結点 410a - 410d などの複数の連結点を通じて電極に印加され得る。追加的に又は代替的に、低 RF 周波数の RF 電力は、基板支持体 104 の電極、例えば、図 1 に示す第 1 及び / 又は第 2 の電極 120、122 に印加され得る。

40

【0039】

[0045] 低 RF 周波数を電極に印加する手法は、本開示で検討される実施態様のいずれかと組み合わせられ得ると想定される。例えば、いくつかの実施態様では、低 RF 周波数は、凸型若しくは凹型シャワーヘッド 106 及び / 又は凸型若しくは凹型基板支持体 104 と併せて使用され、間隔 D1 (図 1) を 15 mil に維持し得る。一実施態様では、低 RF 周波数は、多数の RF 供給位置及び凸型若しくは凹型シャワーヘッド 106 及び /

50

又は凸型若しくは凹型基板支持体 104 と併せて使用され、間隔 D1 を 15 mil に維持することができる。いくつかの実施態様では、低 RF 周波数は、多数の RF 供給位置、遮断プレートの中心領域の開孔のさまざまな密度、並びに凸型若しくは凹型シャワーヘッド 106 及び / 又は凸型若しくは凹型基板支持体 104 と併せて使用され、間隔 D1 を所定の範囲内又は 15 mil などの所定の値に維持することができる。

#### 【0040】

[0046] さまざまな実施態様は、酸化物と窒化物の層が交互になった膜積層体の堆積プロセスなどの基板処理を実施するためにあらゆる順序で組み合わせられ得る。図 5 は、誘電体層などの膜層を形成するための方法 500 を示しており、この膜層は、後に半導体デバイス用のゲート構造体を形成するのに用いられ得る。一実施態様では、膜層は、3次元 (3D) NAND 半導体用途のためのゲート構造体を形成するのに用いられ得る。3次元 (3D) NAND 半導体用途の製造では、回路密度を上げるために、階段状の酸化物と窒化物の対による構造が、しばしば、高アスペクト比ゲート積層体 NAND セルに用いられる。

#### 【0041】

図 5 に記載のシーケンスは、図 6A - 6B に図示している製造段階 (後述する) に対応している。方法 500 は、操作 502 において、図 1 に示す処理チャンバ 100 といった堆積処理チャンバ内に基板 602 を提供することによって開始される。基板 602 は、その上に形成された第 1 の膜層 606 を有する。第 1 の膜層 606 は、酸化ケイ素含有層、窒化ケイ素含有層、アモルファスシリコン、多結晶シリコン又は任意の適切な結晶シリコン層などのケイ素含有層であり得る。図 6A に図示する例では、第 1 の膜層 606 は、酸化ケイ素層などの酸化ケイ素含有層である。基板 602 は、結晶シリコン (例えば  $Si < 100 >$  又は  $Si < 111 >$ )、酸化ケイ素、ストレインドシリコン、シリコンゲルマニウム、ドーブされた又はドーブされていないポリシリコン、ドーブされた又はドーブされていないシリコンウエハ及びパターニングされた又はパターニングされていないウエハのシリコンオンインシュレータ (SOI)、炭素がドーブされた酸化ケイ素、窒化ケイ素、ドーブされたシリコン、ゲルマニウム、ヒ化ガリウム、ガラス、又はサファイアといった、材料であり得る。

#### 【0042】

[0048] 操作 504 では、堆積ガス混合物が処理チャンバ中に提供されて、図 6B に示すとおり、窒化ケイ素含有層などの第 2 の膜層 608 を第 1 の膜層 606 上に形成する。堆積ガス混合物は、ケイ素含有ガス及び反応ガスを含み得る。適切なケイ素含有ガスには、限定されないが、シラン ( $SiH_4$ )、ジシラン ( $Si_2H_6$ )、四フッ化ケイ素 ( $SiF_4$ )、四塩化ケイ素 ( $SiCl_4$ )、ジクロロシラン ( $SiH_2Cl_2$ )、テトラエチルオルトシリケート (TEOS) などが含まれ得る。反応ガスは、酸化ケイ素含有層を形成するための酸素含有ガス、窒化ケイ素含有層を形成するための窒素含有ガス、又は炭化ケイ素含有層を形成するための炭素含有ガスであり得る。酸素含有ガスの適切な例は、 $O_2$ 、 $N_2O$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$ 、 $H_2O$  などを含む。窒素含有ガスの適切な例は、 $N_2$ 、 $N_2O$ 、 $NO_2$ 、 $NH_3$ 、 $N_2H_2$  などを含む。炭素含有ガスの適切な例は、 $CO_2$ 、 $CO$ 、 $CH_4$ 、 $CF_4$ 、他の適切な炭素系ポリマーガスなどを含む。一又は複数の不活性ガスが堆積ガス混合物に含まれ得る。不活性ガスは、Ar、He、及び Xe、又は  $N_2$  などの希ガスを含み得るが、これらに限定されない。チャンバ圧力は、約 10 Torr と約 15 Torr の間の範囲に維持され得、基板温度は摂氏約 200 度と摂氏約 700 度の間の範囲に維持され得る。基板の応力プロファイルに応じて、処理チャンバのシャワーヘッド及び / 又は基板支持体は、曲率を有し、図 1、2A、2B、3A、及び 3B に関して上で検討されたとおり、約 10 mil から約 30 mil などのシャワーヘッドと基板支持体との間の所定の間隔を得ることができる。

#### 【0043】

[0049] 操作 506 では、高周波 (RF) 電源 158 (図 1) などの RF 電力が電源によって生成され、堆積ガス混合物に連結されて、プラズマ中の反応種への堆積ガス混

合物の解離を助ける。RF電力は、上で検討されているとおり、約13.56MHzから約40MHzの範囲、例えば約27MHzの低RF周波数で操作され得る。RF電力は、約10ワットから約5000ワット、例えば約500ワットで操作され得る。RFバイアス電力は、堆積プロセス中プラズマ密度を改善するために上で検討されるようなやり方で、電源124、132などの一又は複数の電源によって提供され得る。RFバイアス電力は、300kHzの周波数で約10ワットと約100ワットの間で供給され得る。一実施態様では、RFバイアス電力は、約10%と約95%の間のデューティサイクルで約500Hzと約10kHzの間の周波数でパルスされ得る。別途記載されない限り、本開示で検討される処理パラメータは、200mmの直径、300mmの直径、450mmの直径を有する基板に基づいている。

10

## 【0044】

[0050]操作508では、堆積ガス混合物からプラズマを形成しながら、基板支持体104(図1)などの基板支持体が連続して回転され、又は180度回転した後に回転方向を変更するなど、反対方向において振動して、より基板をより均一にプラズマに曝露するのを助け得る。基板支持体104は、上で検討されている分割数に応じて、約1°と約360°の間、例えば約30°と約270°の間、例えば約90°と約180°の間で回転し得る。基板支持体は、堆積プロセスを全体を通して基板を連続して回転させ得る。

## 【0045】

[0051]操作510では、第2の膜層608が所望の厚さまで堆積される。所望の厚さまで堆積した後、堆積プロセスは終了する。一実施例では、第2の膜層608は、約10nmと約60nmの間、例えば約30nmの厚さを有し得る。第2の膜層608が窒化ケイ素層である実施態様では、窒化ケイ素層は、50%未満の応力均一性で、約-200MPaと約+1200MPaの間の範囲の応力を有し得る。第2の膜層608は、50μm未満の範囲の局所的な変形の範囲(local bow range)を有し得る。本明細書で検討されている応力均一性(U%)は、膜層から測定された応力の平均( ) (例えば、9点、49点、又は69点の応力測定から得られた応力値の平均)で除した基板表面全体で測定された絶対応力値の変動( ) (例えば、9点、49点、又は69点の応力測定のいずれかから得られた最大応力値と最小応力値との間の変動)を指す(例えば、 $\frac{\text{ }}{\text{ }} = U\%$ )。

20

## 【0046】

[0052]第1の膜層606及び第2の膜層608を形成するための堆積プロセスは、繰り返し実施されて、膜積層体702を形成し得る。この膜積層体は、後にパターン化されて、3D NAND半導体デバイス用の階段状の構造体を形成し得る。図7は、一又は複数の実施態様による階段状構造体704の断面図を示している。図7に示す例では、膜積層体702は、上で検討されている第1の膜層606と第2の膜層608が交互になった層(606a、608a、606b、608b、・・・、606n、608nとして図示)を含み得る。膜積層体702は、約600nmと約4000nmの間の総厚を有し得る。膜積層体702は、合計約5から90対の第1の膜層606及び第2の膜層608を含み得る。続くパターン化又はエッチングプロセスでは、フォトレジスト層が、階段状構造体704用のエッチングマスクとして機能しながら、異なる寸法に順次トリミングするために使用され、3D NAND半導体デバイス用のゲート構造体を完成させ得る。

30

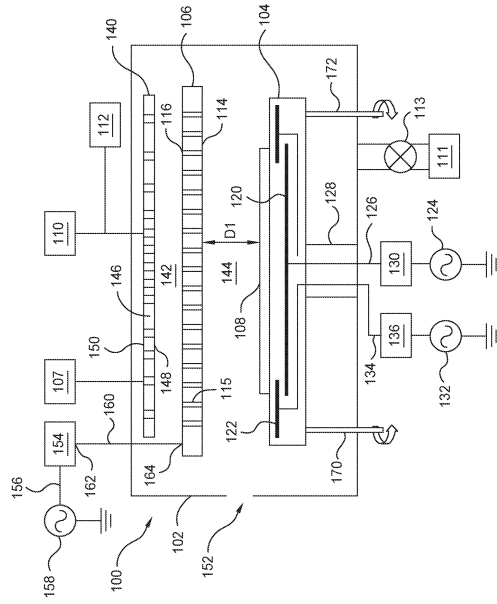
40

## 【0047】

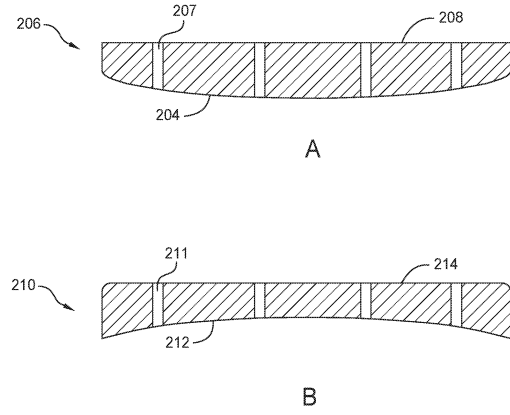
[0053]上記の説明は本開示の実施態様を対象としているが、本開示の基本的な範囲を逸脱しなければ、本開示の他の実施態様及びさらなる実施態様が考案されてよく、本開示の範囲は以下の特許請求の範囲によって決まる。

50

【図面】  
【図 1】



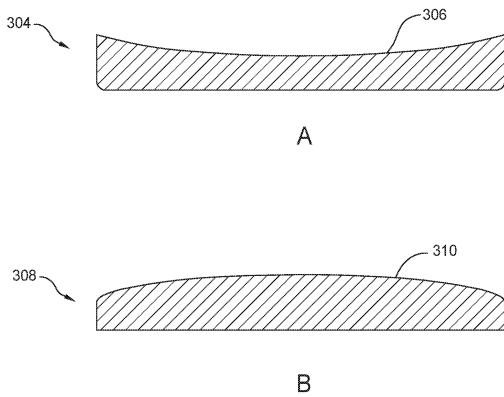
【図 2 A - B】



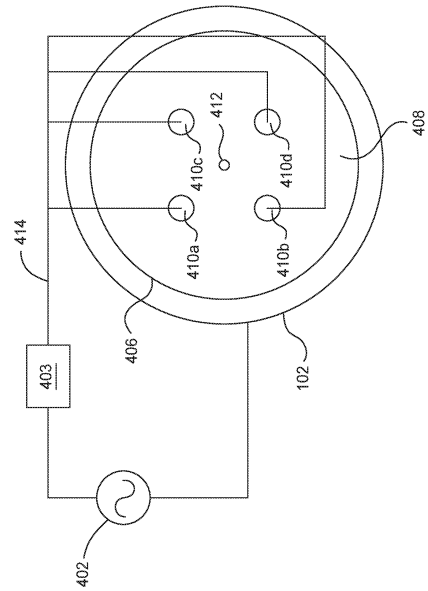
10

20

【図 3 A - B】



【図 4】

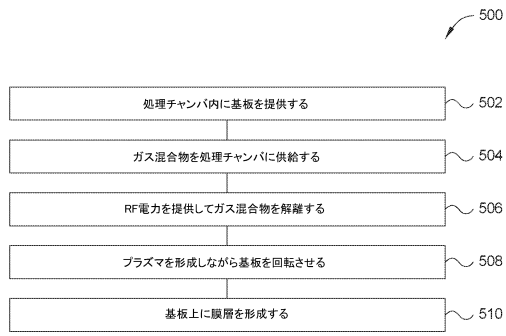


30

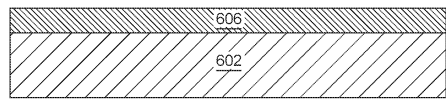
40

50

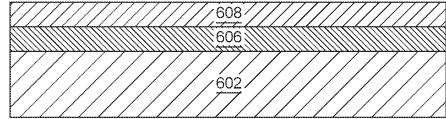
【図5】



【図6A - B】

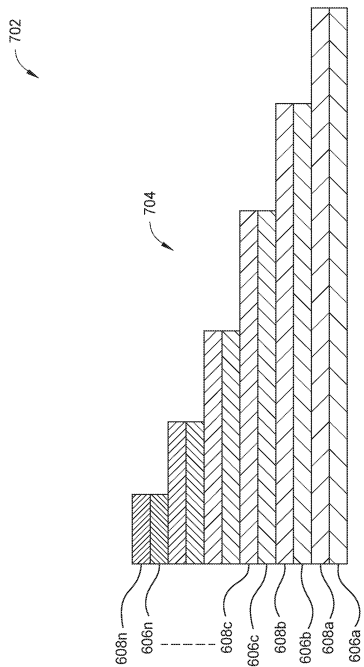


A



B

【図7】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 29/788(2006.01)

H 0 1 L 29/792(2006.01)

- 54, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 パディ, ディーネッシュ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 ベンジャミン ラジ, デミアン ラジ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 エンスロー, クリストファー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 ワン, ウェンジャオ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 尾方 正樹  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 アデパリ, サイ ススミタ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 ジョラプール, ニクヒル スディンドララオ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 チシュカノフ, グレゴリー ユージン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 スリヴァスタヴァ, シャイレンドラ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 ベック, ジョンフン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント
- (72)発明者 イブラヒミ, ザカリヤ  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 3050, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド, ロー デパートメント

- 
- (72)発明者 ロチャ - アルヴァレス, フアン カルロス  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 30  
50, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド,  
ロー デパートメント
- (72)発明者 グン, ツァ - ジン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 95054, サンタ クララ, パウアーズ アヴェニュー 30  
50, エム/エス 1269, シー/オー アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド,  
ロー デパートメント
- 審査官 小 高 孔 頌
- (56)参考文献 特表2013 - 546169 (JP, A)  
特開2000 - 269146 (JP, A)  
特開2004 - 311646 (JP, A)  
米国特許出願公開第2016 / 0307752 (US, A1)  
特表2018 - 508980 (JP, A)  
特開2015 - 004131 (JP, A)  
特表2018 - 528616 (JP, A)  
米国特許出願公開第2003 / 0089314 (US, A1)  
米国特許出願公開第2004 / 0194709 (US, A1)  
米国特許出願公開第2014 / 0373782 (US, A1)  
米国特許第08076250 (US, B1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01L 21 / 316  
H01L 21 / 31  
H01L 21 / 318  
H10B 43 / 27  
H01L 21 / 336  
H01L 21 / 788  
H01L 21 / 792