

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7229750号
(P7229750)

(45)発行日 令和5年2月28日(2023.2.28)

(24)登録日 令和5年2月17日(2023.2.17)

(51)国際特許分類 F I
H 0 1 L 21/3065(2006.01) H 0 1 L 21/302 1 0 5 A
H 0 1 L 21/302 1 0 1 B

請求項の数 13 (全17頁)

(21)出願番号	特願2018-234742(P2018-234742)	(73)特許権者	000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号
(22)出願日	平成30年12月14日(2018.12.14)	(74)代理人	110002147 弁理士法人酒井国際特許事務所
(65)公開番号	特開2020-96142(P2020-96142A)	(72)発明者	木原 嘉英 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
(43)公開日	令和2年6月18日(2020.6.18)	(72)発明者	久松 亨 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
審査請求日	令和3年7月26日(2021.7.26)	(72)発明者	谷口 謙介 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内
		(72)発明者	畑崎 芳成 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理方法およびプラズマ処理装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に形成された疎密を有するパターン上にCVD(Chemical Vapor Deposition)によって第1の膜を形成する第1工程と、

前記第1の膜をスパッタリングまたはエッチングすることにより、スパッタリングまたはエッチングされた前記第1の膜由来の粒子を前記パターンの側壁に付着させる第2工程と、

を含む、プラズマ処理方法。

【請求項2】

前記第1工程と前記第2工程を所定回数繰り返し実行する、請求項1に記載のプラズマ処理方法。 10

【請求項3】

前記第1工程と前記第2工程との間に、真空引き工程またはガス交換工程をさらに含む、請求項1または2に記載のプラズマ処理方法。

【請求項4】

前記第1工程に用いられるガスは、C、H、F、O、SまたはNを含む、請求項1から3のいずれか1項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項5】

前記第2工程に用いられるガスは、希ガス、不活性ガスまたはこれらを混合したガスである、請求項1から4のいずれか1項に記載のプラズマ処理方法。 20

【請求項 6】

前記パターンを、極端紫外光（EUV）またはArFリソグラフィにより形成する工程をさらに含む、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 7】

基板上に形成された疎密を有するパターン上にCVD（Chemical Vapor Deposition）によって第 1 の膜を形成する第 1 工程と、

前記第 1 の膜をスパッタリングまたはエッチングする第 2 工程と、
を含み、

前記第 1 工程と前記第 2 工程との組み合わせは、前記パターンが含む、パターンが密に配置される部分の配置間隔を、パターンが疎に配置される部分の配置間隔よりも大きな変動量で減少させる、プラズマ処理方法。

10

【請求項 8】

基板上に形成された疎密を有するパターン上に第 1 の膜を形成する第 1 工程と、
前記第 1 の膜をスパッタリングまたはエッチングする第 2 工程と、

を含み、

前記第 1 工程と前記第 2 工程との組み合わせは、前記パターンが含む、パターンが密に配置される部分の配置間隔を、パターンが疎に配置される部分の配置間隔よりも大きな変動量で減少させ、

前記変動量を目的変数とし、前記第 1 工程および前記第 2 工程の処理条件を説明変数とする重回帰曲線に基づき、前記第 1 工程および前記第 2 工程の処理条件を決定する決定工程をさらに含む、
プラズマ処理方法。

20

【請求項 9】

前記決定工程は、前記第 1 工程および前記第 2 工程の処理時間を決定する、請求項 8 に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 10】

前記パターンを介してエッチングする第 3 工程をさらに含む、請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項 11】

前記第 3 工程の処理条件を重回帰曲線に基づき決定する第 2 の決定工程をさらに含む、請求項 10 に記載のプラズマ処理方法。

30

【請求項 12】

疎領域と密領域とを有するパターンを備える基板を提供する工程と、

前記パターン上にCVD（Chemical Vapor Deposition）によって第 1 の膜を形成する成膜工程と、

前記第 1 の膜をスパッタし、前記パターンの側壁にスパッタされた粒子を再付着させることにより前記密領域のCD減少量を前記疎領域のCD減少量よりも大きくする工程と、
を含むプラズマ処理方法。

【請求項 13】

処理空間を提供するチャンバと、

前記チャンバの内部に設けられ、基板が載置される載置台と、

前記チャンバの内部に処理ガスを供給するためのガス供給部と、

前記チャンバ内において、基板上に形成された疎密を有するパターン上にCVD（Chemical Vapor Deposition）によって第 1 の膜を形成する第 1 工程と、前記第 1 の膜をスパッタリングまたはエッチングすることにより、スパッタリングまたはエッチングされた前記第 1 の膜由来の粒子を前記パターンの側壁に付着させる第 2 工程と、を実行する制御部と、

40

を備えたプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【 0 0 0 1 】

以下の開示は、プラズマ処理方法およびプラズマ処理装置に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

半導体装置の微細化が進み、極端紫外光（EUV）リソグラフィ等の技術が開発されるに伴い、半導体基板上に形成されたマスク等のパターン寸法の精密な制御が求められている。

【 0 0 0 3 】

たとえば、エッチングパターンのCD（Critical Dimension）のシュリンクレシオを制御するため、エッチング対象膜上に形成されたマスクを、エッチングの前にトリートメントガスによりトリートメントする技術が提案されている（特許文献1）。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 文献 】 特開 2 0 1 5 - 1 1 5 4 1 0 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

本開示は、基板上に形成されるパターン寸法を精密に制御できる技術を提供する。

【 課題を解決するための手段 】

20

【 0 0 0 6 】

本開示の一態様によるプラズマ処理装置が実行するプラズマ処理方法は、基板上に形成された疎密を有するパターン上に第1の膜を形成する第1工程と、第1の膜をスパッタリングまたはエッチングする第2工程と、を含む。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 7 】

本開示によれば、基板上に形成されるパターン寸法を精密に制御できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 8 】

【 図 1 】 図 1 は、一実施形態に係るプラズマ処理装置の構成の一例を示す図である。

30

【 図 2 】 図 2 は、一実施形態に係るプラズマ処理の大まかな流れの一例を示すフローチャートである。

【 図 3 A 】 図 3 A は、マスクパターンが形成されたウエハの概略断面図である。

【 図 3 B 】 図 3 B は、一実施形態に係る成膜処理後のウエハの概略断面図である。

【 図 3 C 】 図 3 C は、一実施形態に係るスパッタリングまたはエッチング後のウエハの概略断面図である。

【 図 4 】 図 4 は、一実施形態に係る $X > Y$ CD 制御における長径（Y）および短径（X）の変化について説明するための図である。

【 図 5 】 図 5 は、一実施形態に係る $X > Y$ CD 制御における長径（Y）および短径（X）の変化について説明するための他の図である。

40

【 図 6 】 図 6 は、一実施形態に係るプラズマ処理の追加工程の一例について説明するための図である。

【 図 7 】 図 7 は、一実施形態に係る処理条件決定処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【 図 8 】 図 8 は、 $X - Y$ パターンの一例について説明するための図である。

【 図 9 A 】 図 9 A は、 $X - Y$ パターンの寸法制御例 1 について説明するための図である。

【 図 9 B 】 図 9 B は、 $X - Y$ パターンの寸法制御例 2 について説明するための図である。

【 図 9 C 】 図 9 C は、 $X - Y$ パターンの寸法制御例 3 について説明するための図である。

【 図 1 0 】 図 1 0 は、 $X - Y$ パターンの寸法制御について説明するためのグラフである。

【 発明を実施するための形態 】

50

【 0 0 0 9 】

以下に、開示する実施形態について、図面に基づいて詳細に説明する。なお、本実施形態は限定的なものではない。また、各実施形態は、処理内容を矛盾させない範囲で適宜組み合わせることが可能である。なお、各図面において同一または相当の部分に対しては同一の符号を付する。

【 0 0 1 0 】

半導体装置が微細化すると、所望のパターン形成までに複数回の処理が実行される。そして、各処理で形成される層の間にパターンのずれが生じることがある。パターン間のずれを解消するために、半導体装置上に形成されるパターンの寸法を制御することが求められる。

10

【 0 0 1 1 】

マスクのパターンとしては楕円形状等、長径と短径を有するパターンがある。かかるパターンが形成されている場合、エッチング工程においてローディング効果によって長径の寸法が変化しやすい。そこで、長径と短径とを独立に制御することが望まれる。

【 0 0 1 2 】

(X - Y C D 制御について)

まず、X - Y C D 制御について説明する。クリティカル・ディメンション (C D) とは半導体基板上的パターンの寸法を指す用語である。C D は、半導体装置の特性を示すパラメータとして用いられ、所望の C D が達成されない場合は半導体装置の性能に影響する。このため、プラズマ処理は、所望の C D を達成することが求められる。

20

【 0 0 1 3 】

半導体装置の製造において形成されるパターンには種々の形状がある。たとえば上述のように、パターンの一つとして、2軸方向に異なる長さを有する楕円等のパターンが存在する。楕円形状の穴等、上面視で直交する2方向 (X 方向 : 短径、Y 方向 : 長径) における寸法に差があるパターンを、以下 X - Y パターンと呼ぶ。また、X - Y パターンの C D を制御することを X - Y C D 制御と呼ぶ。X - Y C D 制御には、X > Y シュリンク、X < Y シュリンク、X = Y シュリンク等がある。X > Y シュリンクでは、短辺 X の開口寸法の変化量 (ΔX) が長辺 Y の開口寸法の変化量 (ΔY) よりも大きくなるように X - Y パターンの開口寸法を小さく (シュリンク) する。X < Y シュリンクでは、ΔY が ΔX よりも大きくなるように X - Y パターンの開口寸法を小さくする。X = Y シュリンクでは、ΔX と ΔY とが等しくなるように X - Y パターンの開口寸法を小さくする。

30

【 0 0 1 4 】

図 8 は、X - Y パターンの一例について説明するための図である。図 8 は、基板上に形成された X - Y パターンを有するマスクの一例の部分上面図である。図 8 に示す基板には、上面視で略矩形形状 (楕円形状) の開口部が複数整列した状態で形成されている。複数の開口部は略同一の寸法を有する。

【 0 0 1 5 】

図 8 のように形成された X - Y パターンのマスクの実際の寸法と設計寸法とにずれがある場合、そのままマスクを介してエッチングすると、エッチング後の形状にずれが転写される。このため、エッチングする前に、X - Y C D 制御すなわち X - Y パターンの寸法を制御する。

40

【 0 0 1 6 】

図 9 A は、X - Y パターンの寸法制御例 1 について説明するための図である。図 9 B は、X - Y パターンの寸法制御例 2 について説明するための図である。図 9 C は、X - Y パターンの寸法制御例 3 について説明するための図である。図 9 A の例は、短辺 X の開口寸法を維持しつつ、長辺 Y の開口寸法を小さくする制御例 (X < Y シュリンク : X 辺よりも Y 辺の減少量が大きくなるように開口部を小さくする) である。図 9 A の例では、X - Y パターンが形成された後、Y 辺が短くなるように基板上に成膜する。他方、図 9 B の例は、短辺 X の開口寸法を小さくしつつ、長辺 Y の開口寸法を維持する制御例 (X > Y シュリンク : Y 辺よりも X 辺の減少量が大きくなるように開口部を小さくする) である。図 9 B

50

の例では、X - Yパターンが形成された後、X辺が短くなるように基板上に成膜する。さらに、図9Cの例は、短辺Xの開口寸法と長辺Yの開口寸法とを同程度減少させる制御例（X = Yシュリンク）である。図9Cの例では、X - Yパターンが形成された後、Y辺とX辺とが同程度短くなるように基板上に成膜する。

【0017】

図10は、X - Yパターンの寸法制御について説明するためのグラフである。図10中、左上の領域「X < Yシュリンク」（図10、（1））は、たとえば、化学気相成長（Chemical Vapor Deposition: CVD）のローディング効果を利用して実現できる。また、中央を右方上がりに伸びる直線「X = Yシュリンク」（図10、（2））はたとえば、原子層堆積（Atomic Layer Deposition: ALD）を用いて実現できる。以下に説明する一実施形態に係るプラズマ処理方法は、右下の「X > Yシュリンク」（図10、（3））を実現する。

10

【0018】

（一実施形態に係るプラズマ処理装置の構成）

まず、一実施形態に係るプラズマ処理装置1について、図1を参照して説明する。図1は、一実施形態に係るプラズマ処理装置1の構成の一例を示す図である。本実施形態に係るプラズマ処理装置1は、半導体ウエハのエッチング、成膜、スパッタリング等をプラズマを用いて実行する。本実施形態に係るプラズマ処理装置1は、チャンバ10内に載置台20とガスシャワーヘッド30とを対向配置した平行平板型のプラズマ処理装置（容量結合型プラズマ処理装置）である。載置台20は下部電極としても機能し、ガスシャワーヘッド30は上部電極としても機能する。

20

【0019】

プラズマ処理装置1は、例えば表面がアルマイト処理（陽極酸化処理）されたアルミニウムからなる円筒形のチャンバ10を有している。チャンバ10は、電気的に接地されている。チャンバ10の底部には、半導体ウエハ（以下、単に「ウエハW」という。）を載置するための載置台20が設けられている。ウエハWは、基板の一例である。載置台20は、ウエハWを静電吸着力により保持する静電チャック21と、静電チャック21を支持する基台22とを有する。

【0020】

基台22は、アルミニウム（Al）やチタン（Ti）、炭化ケイ素（SiC）等から形成されている。

30

【0021】

基台22の上面には、ウエハを静電吸着するための静電チャック21が設けられている。静電チャック21は、絶縁体21aの間にチャック電極21bを挟み込んだ構造になっている。チャック電極21bには直流電圧源23が接続され、直流電圧源23からチャック電極21bに直流電圧HVが印加されることにより、クーロン力によってウエハWが静電チャック21に吸着される。静電チャック21の上面には、ウエハWを保持するための保持面と、保持面よりも高さが低い部分である周縁部とが形成されている。静電チャック21の保持面に、ウエハWが載置される。

【0022】

静電チャック21の周縁部には、静電チャック21の保持面に載置されたウエハWを囲むようにエッジリング24が配置されている。エッジリング24は、例えばシリコンや石英から形成されている。エッジリング24は、プラズマ処理の面内均一性を高めるように機能する。

40

【0023】

また、載置台20（基台22）の内部には、冷媒流路26aが形成されている。冷媒流路26aには、冷媒入口配管26b及び冷媒出口配管26cが接続されている。チラー27から出力された例えば冷却水やブライン等の冷却媒体（以下、「冷媒」ともいう。）は、冷媒入口配管26b、冷媒流路26a及び冷媒出口配管26cを通流して循環する。冷媒により、載置台20は抜熱され、冷却される。

50

【 0 0 2 4 】

伝熱ガス供給源 2 8 は、ヘリウムガス (H e) やアルゴンガス (A r) 等の伝熱ガスをガス供給ライン 2 8 a に通して静電チャック 2 1 上のウエハ W の裏面に供給する。かかる構成により、静電チャック 2 1 は、冷媒流路 2 6 a に循環させる冷媒と、ウエハ W の裏面に供給する伝熱ガスとによって温度制御される。この結果、ウエハ W を所定の温度に制御することができる。伝熱ガス供給源 2 8 及びガス供給ライン 2 8 a は、ウエハ W の裏面に伝熱ガスを供給する伝熱ガス供給機構の一例である。

【 0 0 2 5 】

載置台 2 0 には、2 周波重畳電力を供給する電力供給装置 2 9 が接続されている。電力供給装置 2 9 は、第 1 周波数の第 1 高周波電力 (プラズマ生起用高周波電力) を供給する第 1 高周波電源 2 9 a と、第 1 周波数よりも低い第 2 周波数の第 2 高周波電力 (バイアス電圧発生用高周波電力) を供給する第 2 高周波電源 2 9 b とを有する。第 1 高周波電源 2 9 a は、第 1 整合器 2 9 c を介して載置台 2 0 に電氣的に接続される。第 2 高周波電源 2 9 b は、第 2 整合器 2 9 d を介して載置台 2 0 に電氣的に接続される。第 1 高周波電源 2 9 a は、例えば、4 0 M H z の第 1 高周波電力を載置台 2 0 に印加する。第 2 高周波電源 2 9 b は、例えば、4 0 0 k H z の第 2 高周波電力を載置台 2 0 に印加する。なお、本実施形態では、第 1 高周波電力は載置台 2 0 に印加されるが、ガスシャワーヘッド 3 0 に印加されてもよい。

【 0 0 2 6 】

第 1 整合器 2 9 c は、第 1 高周波電源 2 9 a の内部 (または出力) インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させる。第 2 整合器 2 9 d は、第 2 高周波電源 2 9 b の内部 (または出力) インピーダンスに負荷インピーダンスを整合させる。第 1 整合器 2 9 c は、チャンバ 1 0 内にプラズマが生成されているときに第 1 高周波電源 2 9 a の内部インピーダンスと負荷インピーダンスとが見かけ上一致するように機能する。第 2 整合器 2 9 d は、チャンバ 1 0 内にプラズマが生成されているときに第 2 高周波電源 2 9 b の内部インピーダンスと負荷インピーダンスとが見かけ上一致するように機能する。

【 0 0 2 7 】

ガスシャワーヘッド 3 0 は、その周縁部を被覆するシールドリング 3 1 を介してチャンバ 1 0 の天井部の開口を閉塞するように取り付けられている。ガスシャワーヘッド 3 0 は、図 1 に示すように電氣的に接地してもよい。

【 0 0 2 8 】

ガスシャワーヘッド 3 0 には、ガスを導入するガス導入口 3 2 が形成されている。ガスシャワーヘッド 3 0 の内部にはガス導入口 3 2 から分岐したセンター部の拡散室 3 2 a 及びエッジ部の拡散室 3 2 b が設けられている。ガス供給源 3 3 から出力されたガスは、ガス導入口 3 2 を介して拡散室 3 2 a 、 3 2 b に供給され、拡散室 3 2 a 、 3 2 b にて拡散されて多数のガス供給孔 3 4 から載置台 2 0 に向けて導入される。

【 0 0 2 9 】

チャンバ 1 0 の底面には排気口 4 0 が形成されており、排気口 4 0 に接続された排気装置 4 1 によってチャンバ 1 0 内が排気される。これにより、チャンバ 1 0 内を所定の真空度に維持することができる。チャンバ 1 0 の側壁にはゲートバルブ G が設けられている。ゲートバルブ G は、チャンバ 1 0 からウエハ W の搬入及び搬出を行う際に搬出入口を開閉する。

【 0 0 3 0 】

プラズマ処理装置 1 には、装置全体の動作を制御する制御部 5 0 が設けられている。制御部 5 0 は、C P U (Central Processing Unit) 5 1 、R O M (Read Only Memory) 5 2 及び R A M (Random Access Memory) 5 3 を有している。C P U 5 1 は、これらの記憶領域に格納された各種レシピに従って、後述されるプラズマ処理等の所望の処理を実行する。レシピにはプロセス条件に対する装置の制御情報であるプロセス時間、圧力 (ガスの排気) 、高周波電力や電圧、各種ガス流量、チャンバ内温度 (上部電極温度、チャンバの側壁温度、ウエハ W 温度 (静電チャック温度) など) 、チラー 2 7 から出力

10

20

30

40

50

される冷媒の温度などが記載されている。なお、これらのプログラムや処理条件を示すレシピは、ハードディスクや半導体メモリに記憶されてもよい。また、レシピは、CD (Compact Disc) - ROM、DVD (Digital Versatile Disc) 等の可搬性のコンピュータにより読み取り可能な記憶媒体に収容された状態で所定位置にセットされ、読み出されるようにしてもよい。

【0031】

例えば、制御部50は、後述するプラズマ処理方法を行うようにプラズマ処理装置1の各部を制御する。

【0032】

(一実施形態に係るプラズマ処理方法)

図2は、一実施形態に係るプラズマ処理の大まかな流れの一例を示すフローチャートである。図3Aは、マスクパターンが形成されたウエハの概略断面図である。図3Bは、一実施形態に係る成膜処理後のウエハの概略断面図である。図3Cは、一実施形態に係るスパッタリングまたはエッチング後のウエハの概略断面図である。

【0033】

まず、処理対象であるウエハWを提供する(ステップS21、図3A参照)。ウエハW上にはエッチングの対象となる下地膜101が形成される。また、下地膜101の上にはEUVリソグラフィまたはArFリソグラフィ等によりフォトリソグラムのマスクパターン103が形成される。マスクパターン103は、上記X-Yパターンを含む。さらに、マスクパターン103に対してコーティング105が施される。コーティング105は、シリコンを含んでもよい。マスクパターン103の耐性を高める保護膜であるコーティング105は省略してもよい。

【0034】

次に、プラズマ処理装置1の制御部50は、プラズマ処理装置1の各部を制御してウエハWに対して成膜処理を実行する(ステップS22、図3B)。成膜処理により、ウエハWのマスクパターン103上に第1の膜107が形成される。ステップS22の成膜処理はたとえば、フルオロカーボン(CxFy)系の処理ガスを用いてCVDにより実行する。第1の膜107を形成するステップS22の成膜処理を以下、第1工程とも呼ぶ。

【0035】

次に、制御部50は、ステップS22において形成された第1の膜107に対してスパッタリング(またはエッチング)する(ステップS23、図3C)。たとえば、制御部50は、プラズマを生成してRFバイアス電圧を載置台20(下部電極)に印加し、第1の膜107に向けてアルゴン(Ar)ガス等の希ガスのイオンを衝突させる。第1の膜107からはじき出された粒子(たとえばCxFyの原子または分子)は、再び周囲のパターンに付着して堆積する。このとき、第1の膜107からはじき出された成膜材料の粒子は、短辺Xにおいては穴の外に排出されにくく短辺Xの側壁に付着する量が多くなる。他方、長辺Yにおいてはスパッタリングにより生成した成膜材料が穴から外に排出されやすいため長辺Yの側壁に付着する粒子は短辺Xよりも少なくなる。このため、ステップS22の成膜およびステップS23のスパッタリング(またはエッチング)の組み合わせは、X>Yシュリンクを実現する。ステップS23のスパッタリング(エッチング)を以下、第2工程とも呼ぶ。

【0036】

次に、制御部50は、マスクパターン103のシュリンク量(X, Y)が所定量に達したか否かを判定する(ステップS24)。制御部50はたとえば、ステップS22およびステップS23の実行回数が所定数に達した場合に、シュリンク量が所定量に達したと判定する。シュリンク量が所定量に達していないと判定した場合(ステップS24、No)、制御部50は、ステップS22に戻って、成膜とスパッタリングを繰り返す。他方、シュリンク量が所定量に達したと判定した場合(ステップS24、Yes)、制御部50は、マスクパターン103の下に形成されている下地膜101のエッチングを実行する(ステップS25)。これにより、パターンが下地膜101に形成される。これで一実施

10

20

30

40

50

形態に係るプラズマ処理は終了する。なお、ステップ S 2 4 において、マスクパターン 1 0 3 のシュリンク量が所定量に達したか否かを判定するのに代えて、またはこれに加えて、ステップ S 2 2 における成膜後のマスクパターン 1 0 3 の C D 値を測定してもよい。C D 値の測定は、成膜後に光学的な手法を用いて実行できる。そして C D 値が所定値となったか否かに応じて、シュリンク量が所定量に達したと判定してもよい。

【 0 0 3 7 】

(一実施形態に係る X > Y シュリンク効果)

図 4 は、一実施形態に係る X > Y C D 制御における長径 (Y) および短径 (X) の変化について説明するための図である。図 5 は、一実施形態に係る X > Y C D 制御における長径 (Y) および短径 (X) の変化について説明するための他の図である。

10

【 0 0 3 8 】

図 4 の例では、X - Y パターンを有するウエハ W に対して、八フッ化シクロブタン (C ₄ F ₈) とアルゴン (A r) を用いて C V D した後、アルゴンガスを用いてスパッタリングした。図 4 に示すように、C V D の間は、短径 (X 辺)、長径 (Y 辺) とともに膜が形成されてシュリンクする (図 4 の (1))。また、C V D の間は、ローディング効果により、短径側よりも長径側の方がシュリンク量がやや多い。その後、スパッタリングすると、X > Y シュリンクへと移行する (図 4 の (2))。この処理によれば、Y を抑制しつつ X を増加させて短径 (X 辺) をシュリンクさせることができる。このように、実施形態に係る処理は、短径側に選択的に成膜材料を付着させて短径方向の C D をシュリンクさせることができる。

20

【 0 0 3 9 】

図 5 の例では、一酸化炭素 (C O) とアルゴンで C V D した後、アルゴンガスでスパッタリングした。図 5 の例でも、C V D の間は短径、長径ともに膜が形成されてシュリンクが進む (図 5 の (1))。その後、スパッタリングにより、X > Y シュリンクへ移行し (図 5 の (2))、長径側はシュリンクせずに短径側のみシュリンクしている。つまり、スパッタリングにより、長径側をトリミングしつつ短径側のシュリンクを維持する。Y を独立に抑制することができる。この処理では、(1) で成膜されたカーボン系の薄膜がスパッタリングにおいては保護膜として機能することで、X のシュリンク量が抑制されている。他方、長径側ではスパッタリングのローディング効果によりトリミングが実現されている。このように、成膜とスパッタリングとを組み合わせることにより、X - Y パターンの X > Y シュリンクを実現することができる。

30

【 0 0 4 0 】

(追加工程)

なお、上記プラズマ処理方法において、第 1 工程 (成膜工程) と第 2 工程 (スパッタリングまたはエッチング) とをサイクリックに行う場合、ガス切替タイミングにおいて真空引き工程やパージ (ガス交換) 工程などの追加工程を含んでもよい。追加工程はたとえば、第 1 工程において用いられるガスと第 2 工程において用いられるガスとがチャンバの中で混じらないようにするための工程である。図 6 は、一実施形態に係るプラズマ処理の追加工程の一例について説明するための図である。

【 0 0 4 1 】

図 6 の例では、プラズマ処理方法は、成膜工程 (S 2 2 - 1) からスパッタリング (S 2 3 - 1) に移行する時、および、スパッタリング (S 2 3 - 1) から成膜工程 (S 2 2 - 2) に移行する時に、追加工程を含む。追加工程は、たとえば、成膜ガスおよびスパッタガスの供給、第 1 高周波電力 (R F 1 , 図 1 の 2 9 a 参照) および第 2 高周波電力 (R F 2 , 図 1 の 2 9 b 参照) の印加が停止しているときに行う。

40

【 0 0 4 2 】

なお、上記実施形態において、ウエハ W 上には下地膜 1 0 1 と、マスクパターン 1 0 3 と、コーティング 1 0 5 と、が形成されるものとして説明した。

【 0 0 4 3 】

下地膜 1 0 1 はたとえば、窒化チタン (T i N)、酸化シリコン、ポリシリコン、有機

50

膜、反射防止膜（一例としてSi-ARC）等を含んでよい。たとえば、窒化チタン膜をスパッタリングによりウエハW上に堆積する。次に酸化シリコン膜をテトラエトキシラン（TEOS）等を原料としたプラズマCVDにより堆積する。次に、ポリシリコン膜をプラズマCVDにより堆積する。そして、有機膜をスピンオン材料を用いて形成する。さらに、有機膜上に、反射防止膜を形成する。

【0044】

さらに、反射防止膜の上に、マスクパターン103が形成される。たとえば、EUVリソグラフィを用いて反射防止膜上にフォトレジスト膜のマスクパターン103を形成する。

【0045】

ただし、上記実施形態においてエッチングの対象とする下地膜101は、上記構成に限定されず、シリコン含有膜であってよい。シリコン含有膜としてたとえば、酸化シリコン、窒化シリコン、ポリシリコン、金属珪化物、単結晶シリコンを用いることができる。また、ウエハW上には、導電性膜、絶縁膜、反射防止膜、拡散膜等の他の材料膜が含まれてもよい。

10

【0046】

（重回帰式を用いた処理条件の決定）

本実施形態においてはさらに、所望のシュリンク量にあわせて成膜処理（ステップS22）およびスパッタリング（ステップS23）の処理条件を決定する。たとえば、一実施形態に係るプラズマ処理装置1は、重回帰分析によって所望のシュリンクの達成に影響する説明変数を決定し、重回帰曲線を設定する。そして、プラズマ処理装置1は、設定した重回帰曲線を用いて各処理の処理条件を決定し、決定した処理条件で成膜処理およびスパッタリングを実行する。

20

【0047】

一実施形態においては、マスクパターン103のX>Y制御のための重回帰曲線として以下の式（1）を用いる。

$$X = a + b + c \dots (1)$$

式（1）中、Xは、短径（X）のシュリンク量、aは、成膜処理（ステップS22）のプロセス条件を示し、例えば、処理時間、bは、スパッタリング（ステップS23）のプロセス条件を示し、例えば、処理時間、cは切片である。

【0048】

なお、式（1）は、目的変数をX、Y、Y-X、X/Yの比率等とし、説明変数を各処理の処理条件として重回帰分析を実行することによって導出した。説明変数として、たとえば、成膜処理およびスパッタリングにおける処理ガス流量、処理時間、印加電圧値を用いた。この結果、CDのシュリンク量に与える影響が大きい変数として、成膜処理およびスパッタリング各々の処理時間を特定した。

30

【0049】

図7は、一実施形態に係る処理条件決定処理の流れの一例を示すフローチャートである。まず、ウエハW上に形成されたマスクパターン103について所望のシュリンク量（例えばX）を設定する（ステップS61）。たとえば、図2のステップS21においてウエハW上にマスクパターン103が形成された後の例えば光を用いた検査に基づき所望のシュリンク量を決定する。シュリンク量は、過去のデータに基づき予め設定されてもよく、処理するウエハごとに決定してもよい。

40

【0050】

次に、ステップS61で設定したシュリンク量を、上記重回帰曲線の式（1）に代入する。そして、式（1）に基づき成膜処理（ステップS22、第1工程）およびスパッタリング（ステップS23、第2工程）の処理条件を決定する（ステップS62）。式（1）においては、a項およびb項は各々、成膜処理の処理時間およびスパッタリングの処理時間であるため、ここでは、各処理の処理時間を決定する。これで、処理条件決定処理が終了する。

【0051】

50

重回帰曲線は、過去に処理したウエハWのデータに基づき予め算出して制御部50に記憶しておく。また、プラズマ処理装置1が処理したウエハWのデータを制御部50に格納しておき、定期的に重回帰分析を再実行して重回帰曲線を更新するものとしてもよい。また、プラズマ処理装置1は、処理中のウエハWのデータたとえばCDをリアルタイムで取得して、当該ウエハWに対して実行する処理の処理条件を補正してもよい。

【0052】

また、プラズマ処理装置1は、成膜処理(ステップS22)およびスパッタリング(ステップS23)の処理条件だけでなく、エッチング(ステップS25)の処理条件も重回帰曲線を用いて決定してもよい。たとえば、式(1)に代えて、エッチングの処理条件を説明変数とする重回帰曲線を算出する。そして、プラズマ処理装置1は、算出した重回帰曲線を用いてエッチングの処理条件を決定する。

10

【0053】

また、上記式(1)は、Xに基づき各処理時間を決定する重回帰曲線としたが、Y、 $X - Y$ 等を目的変数として重回帰曲線を設定してもよい。

【0054】

(一実施形態の効果)

上記実施形態に係るプラズマ処理方法は、第1工程と、第2工程と、を含む。第1工程において、プラズマ処理装置は、基板上に形成された疎密を有するパターン上に第1の膜を形成する。第2工程において、プラズマ処理装置は、第1の膜をスパッタリングまたはエッチングする。実施形態に係るプラズマ処理方法は、たとえば第1工程で形成された第1の膜を第2工程により周囲のパターンに付着させることで、 $X > Y$ シュリンクを実現することができる。

20

【0055】

また、実施形態に係るプラズマ処理方法によれば、プラズマ処理装置は、第1工程と第2工程を所定回数繰り返し実行する。このため、プラズマ処理装置は、第1工程および第2工程を1回実行しても所望のシュリンク量が達成されない場合であっても、各工程を2回以上繰り返すことで所望のシュリンク量を達成することができる。

【0056】

また、実施形態に係るプラズマ処理方法は、第1工程と第2工程との間に、真空引き工程またはガス交換工程をさらに含む。このため、実施形態に係るプラズマ処理方法は、第1工程において用いられるガスと第2工程において用いられるガスとがチャンパの中で混じらないようにすることができる。

30

【0057】

また、実施形態に係るプラズマ処理方法によれば、第1工程に用いられるガスは、C、H、F、O、SまたはNを含む。たとえば、第1工程に用いられるガスは、 C_xH_y 、 C_xF_y 、 C_xO_y 、 $C_xH_yF_z$ 、 $C_xH_yO_z$ 、 $C_xH_yN_z$ 、 $C_xH_yS_z$ 、 $C_wH_xF_yO_z$ 、 $C_wH_xN_yO_z$ 、 $C_wH_xS_yO_z$ で構成されるガスおよび液体試料を含む。また、第2工程に用いられるガスは、希ガス、不活性ガスまたはこれらを混合したガスである。

【0058】

また、実施形態に係るプラズマ処理方法は、パターンを、極端紫外光(EUV)またはArFリソグラフィにより形成する工程をさらに含む。EUVリソグラフィ等により微細なパターンが形成された場合であっても、実施形態に係るプラズマ処理方法によれば、 $X > Y$ シュリンクを容易に実現することができる。

40

【0059】

また、実施形態に係るプラズマ処理方法において、第1工程と第2工程との組み合わせは、パターンが含む、パターンが密に配置される部分の配置間隔を、パターンが疎に配置される部分の配置間隔よりも大きな変動量で減少させる。すなわち、実施形態に係るプラズマ処理方法は、 $X > Y$ シュリンクを実現する。また、実施形態に係るプラズマ処理方法は、パターンの形状を問わず、パターンが密に配置される部分の配置間隔を、パターンが疎に配置される部分の配置間隔よりも大きな変動量で減少させる。このため、実施形態に

50

よれば、ラインアンドスペースや、パターンラフネス等、多様なパターンのイレギュラリティを制御することができる。

【 0 0 6 0 】

また、実施形態に係るプラズマ処理方法は、変動量を目的変数とし、第 1 工程および第 2 工程の処理条件を説明変数とする重回帰曲線に基づき、第 1 工程および第 2 工程の処理条件を決定する決定工程をさらに含む。また、実施形態に係るプラズマ処理方法において決定工程は、第 1 工程および第 2 工程の処理時間を決定する。このため、実施形態によれば、目的とするシュリンク量にあわせて各工程の条件を決定することができ、効率的に寸法を制御できる。

【 0 0 6 1 】

また、実施形態に係るプラズマ処理方法は、パターンを介してエッチングする工程をさらに含む。このため、実施形態によれば、プラズマ処理装置は、 $X - Y$ CD 制御が実行された後のマスクを用いてエッチングすることができ、高い精度で半導体装置を製造することができる。

【 0 0 6 2 】

また、実施形態に係るプラズマ処理方法はさらに、エッチングの処理条件を重回帰曲線に基づき決定する第 2 の決定工程を含む。このため、実施形態によれば、第 1 工程、第 2 工程だけでなく、エッチング工程の処理条件も、重回帰分析に基づき効率的に決定することができる。

【 0 0 6 3 】

また、実施形態に係るプラズマ処理方法は、疎領域と密領域とを有するパターンを備える基板を提供する工程と、パターン上に第 1 の膜を形成する成膜工程と、を含む。また、実施形態に係るプラズマ処理方法はさらに、第 1 の膜をスパッタし、パターンの側壁にスパッタされた粒子を再付着させることにより密領域の CD 減少量を疎領域の CD 減少量よりも大きくする工程を含む。このため、実施形態によれば成膜とスパッタリングとの組み合わせにより、 $X > Y$ シュリンクを実現できる。

【 0 0 6 4 】

(変形例)

なお、上記実施形態においては、 $X - Y$ パターンとして大きさが略同一の楕円形状の穴が複数形成されるパターンを用いて説明した。ただし、これに限られず、本実施形態は、楕円形状以外の疎密を有するパターンに適用することができる。疎密を有するパターンとはたとえば、設計上同一サイズのパターンが疎に形成される部分と、密に形成される部分とを有するパターンである。上記楕円形状の穴を複数有する $X - Y$ パターンの場合、楕円の短径方向が密に形成される部分であり、長径方向が疎に形成される部分である。本実施形態のプラズマ処理方法は、たとえばラインアンドスペース (L / S) の寸法制御、ラフネス改善等に適用することができる。

【 0 0 6 5 】

また、重回帰分析は機械学習を用いて実行してもよい。たとえば、ウエハ W の CD 値、目的とする X 、 Y 、処理条件 (処理ガス、印加電圧等) を入力すると、各工程 (成膜、スパッタリング、エッチング) の処理時間が出力されるよう機械学習を実行する。また、プラズマ処理装置の消耗に応じて適用する重回帰曲線を変更できるようにしてもよい。また、重回帰分析においては上記以外のパラメータを説明変数として採用してもよい。たとえば、成膜する膜の材料ガス、スパッタリングにおけるドーズ量などを説明変数としてもよい。

【 0 0 6 6 】

なお、上記実施形態は一例として、プラズマ源として容量結合型プラズマ (CCP : Capacitively Coupled Plasma) を用いたプラズマ処理装置 1 を説明した。ただし、開示の技術はこれに限られず、誘導結合型プラズマ (ICP : Inductively Coupled Plasma) や、マイクロ波プラズマなど、任意のプラズマ源を用いたプラズマ処理装置を採用することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 7 】

また、マスクパターン 1 0 3 上に施すシリコン (S i) 系のコーティング 1 0 5 はたとえば、直流スパッタリング (Direct Current Sputtering)、Direct Current Superposition (DCS) 等を用いて実行できる。DCS はたとえば、米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 1 5 1 3 3 3 号明細書の図 4 A および図 4 B 等に記載された手法により実行できる。

【 0 0 6 8 】

また、プラズマ処理装置の形状および機能に応じて、図 2 の各処理は一つのプラズマ処理装置のチャンバ内で実行することもでき、チャンバ間でウエハ W を搬入出して実行することもできる。本実施形態では、成膜処理 (ステップ S 2 2)、スパッタリング (ステップ S 2 3)、エッチング (ステップ S 2 5) は、同一のプラズマ処理装置 1 のチャンバ 1 0 内で実行する。また、ウエハ W 上にコーティング 1 0 5 を施す処理等も同一のチャンバ 1 0 内で実行するようにプラズマ処理装置 1 を構成してもよい。

10

【 0 0 6 9 】

また、上記説明中、図 2 の成膜処理 (ステップ S 2 2) において用いる処理ガスはフルオロカーボン (C x F y) 系のガスとした。ただし、これに限らず、処理ガスはカーボンを含むガスであって、ステップ S 2 3 のスパッタリングによりパターン表面から放出されてパターンに再付着、堆積する材料を含んでいけばよい。たとえば、C, H, F, O, S または N を含む処理ガスを成膜処理において使用できる。たとえば、C_xH_y, C_xF_y, C_xO_y, C_xH_yF_z, C_xH_yO_z, C_xH_yN_z, C_xH_yS_z, C_wH_xF_yO_z, C_wH_xN_yO_z, C_wH_xS_yO_z で構成されるガス及び液体試料を成膜処理において使用できる。

20

【 0 0 7 0 】

また、上記実施形態に係るプラズマ処理において、ステップ S 2 5 の後にさらに成膜その他の処理を実行してもよい。

【 0 0 7 1 】

今回開示された実施形態は全ての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその趣旨を逸脱することなく、様々な形態で省略、置換、変更されてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 2 】

- 1 プラズマ処理装置
- 1 0 チャンバ
- 2 0 載置台
- 2 1 静電チャック
- 2 1 a 絶縁体
- 2 1 b チャック電極
- 2 2 基台
- 2 3 直流電圧源
- 2 4 エッジリング
- 2 6 a 冷媒流路
- 2 6 b 冷媒入口配管
- 2 6 c 冷媒出口配管
- 2 7 チラー
- 2 8 伝熱ガス供給源
- 2 8 a ガス供給ライン
- 2 9 電力供給装置
- 2 9 a 第 1 高周波電源
- 2 9 b 第 2 高周波電源
- 2 9 c 第 1 整合器
- 2 9 d 第 2 整合器

30

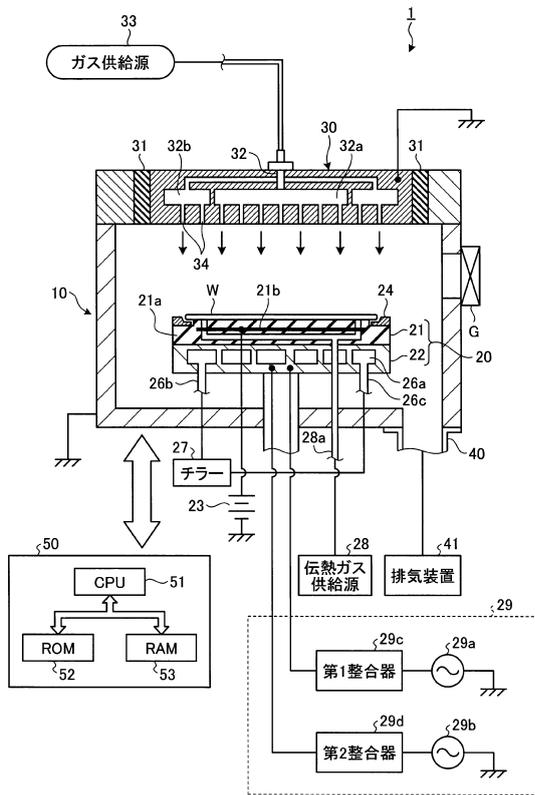
40

50

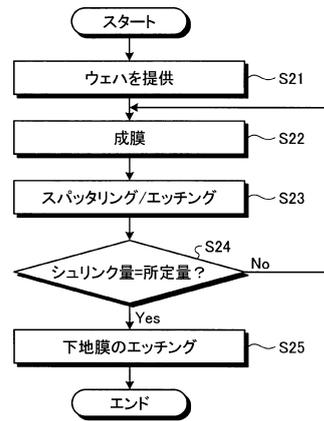
- 3 0 ガスシャワーヘッド
- 3 1 シールドリング
- 3 2 ガス導入口
- 3 2 a , 3 2 b 拡散室
- 3 3 ガス供給源
- 3 4 ガス供給孔
- 4 0 排気口
- 4 1 排気装置
- 5 0 制御部
- 5 1 CPU
- 5 2 ROM
- 5 3 RAM
- G ゲートバルブ
- W ウエハ

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

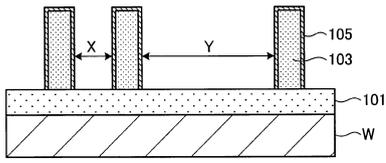
20

30

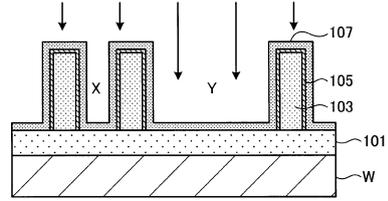
40

50

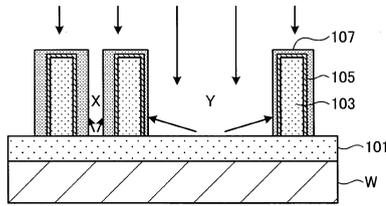
【 3 A 】



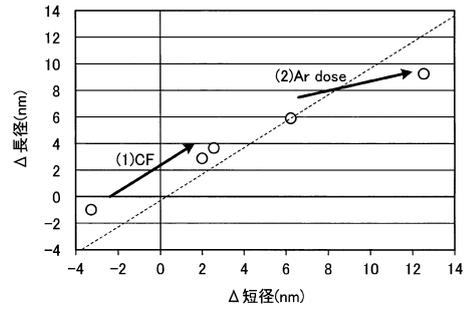
【 3 B 】



【 3 C 】



【 4 】



10

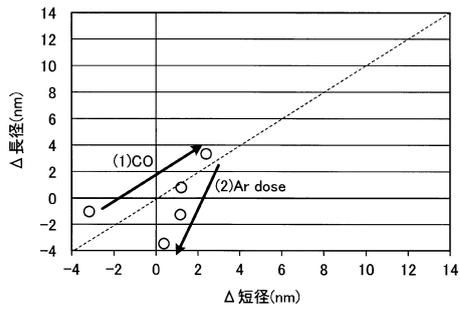
20

30

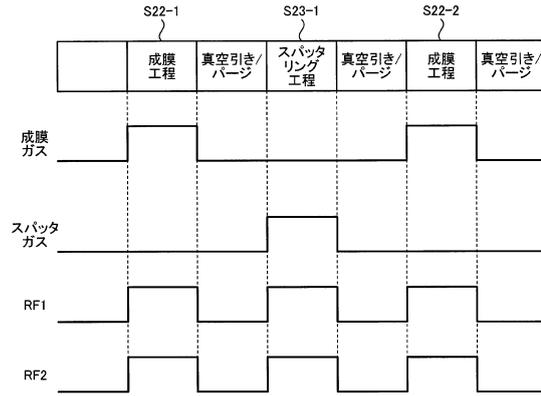
40

50

【 図 5 】



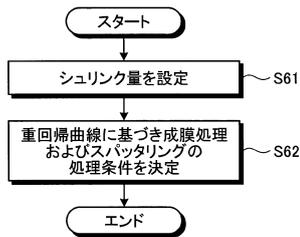
【 図 6 】



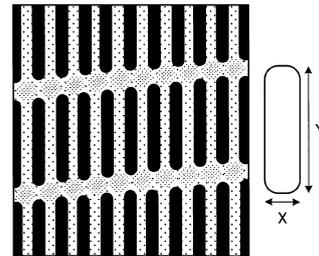
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

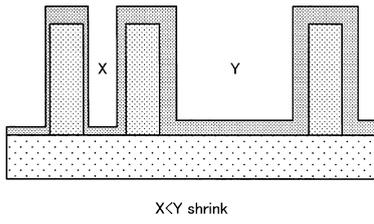


30

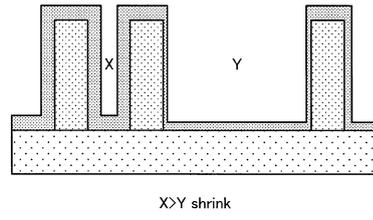
40

50

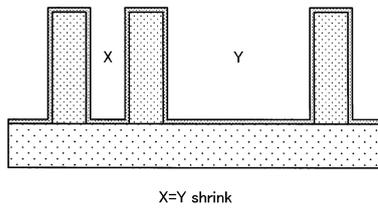
【 9 A 】



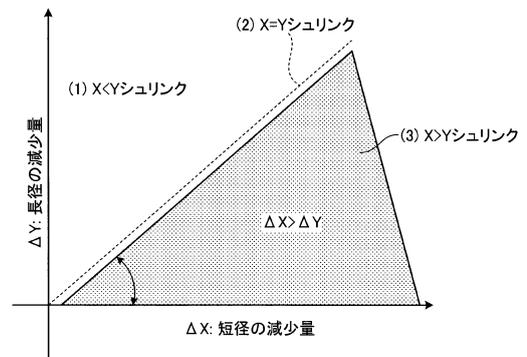
【 9 B 】



【 9 C 】



【 1 0 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 東京エレクトロン宮城株式会社内

審査官 鈴木 智之

- (56)参考文献 特開2016-207772(JP,A)
特開2017-045869(JP,A)
特開2012-227282(JP,A)
特開2007-294905(JP,A)
特開2018-022743(JP,A)
特開2010-003757(JP,A)
米国特許出願公開第2009/0050271(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065