

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7508071号
(P7508071)

(45)発行日 令和6年7月1日(2024.7.1)

(24)登録日 令和6年6月21日(2024.6.21)

(51)国際特許分類	F I			
G 0 3 F 7/20 (2006.01)	G 0 3 F 7/20	5 2 1		
H 0 1 L 21/027(2006.01)	H 0 1 L 21/30	5 7 0		
H 0 1 L 21/3065(2006.01)	H 0 1 L 21/30	5 6 8		
	H 0 1 L 21/30	5 7 6		
	H 0 1 L 21/302	1 0 5 A		
請求項の数 18 (全14頁)				

(21)出願番号	特願2022-513260(P2022-513260)	(73)特許権者	000219967
(86)(22)出願日	令和2年9月25日(2020.9.25)		東京エレクトロン株式会社
(65)公表番号	特表2022-549067(P2022-549067 A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43)公表日	令和4年11月24日(2022.11.24)	(74)代理人	100107766
(86)国際出願番号	PCT/US2020/052771		弁理士 伊東 忠重
(87)国際公開番号	WO2021/062188	(74)代理人	100070150
(87)国際公開日	令和3年4月1日(2021.4.1)		弁理士 伊東 忠彦
審査請求日	令和5年9月5日(2023.9.5)	(72)発明者	グルゼスコウィアク, ジョディ
(31)優先権主張番号	62/905,604		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 2 2
(32)優先日	令和1年9月25日(2019.9.25)		0 3, オールバニー, フラー ロード 2
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		5 5, スイート 2 1 4, ナノファブ 3
			0 0 サウス
		(72)発明者	シェビス, アンソニー
			アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 2 2
			0 3, オールバニー, フラー ロード 2
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 基板のパターン化処理

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板をパターン化する方法であって、
基板上にパターン化されたフォトレジスト構造を形成するステップであって、前記パターン化されたフォトレジスト構造は、所定の側壁傾斜を有する側壁を有し、前記側壁傾斜は、前記基板に形成される基板特徴部の目標臨界寸法（CD）に対応する、ステップと、
前記側壁にスペーサ材料の共形層を成膜するステップであって、前記側壁上の前記スペーサ材料は、前記目標CDとは異なる第1の有効CDを有する、ステップと、
前記スペーサ材料が前記基板上に形成された側壁スペーサとして残存するように、前記パターン化されたフォトレジスト構造を前記基板から除去するステップであって、前記除去するステップは、前記スペーサ材料内の機械的応力を緩和し、前記側壁スペーサは、第2の有効CDを有する、ステップと、
前記側壁スペーサをエッチングマスクとして用い、前記基板を指向性エッチングして、前記基板に前記第2の有効CDを有する前記基板特徴部を形成するステップであって、前記第2の有効CDは、前記第1の有効CDよりも前記目標CDに近い、ステップと、
を有する、方法。

【請求項2】

前記パターン化されたフォトレジスト構造を形成するステップは、マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いて、フォトレジストの層を化学線のパターンに露光するステップを有し、

前記露光は、前記所定の側壁傾斜に対応するデフォーカス点で実施される、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記パターン化されたフォトリソグロフィシステムを用いて、前記フォトリソグロフィの層を化学

線のパターンで露光するステップであって、前記下地層は、前記層を露光するステップを強化し、前記所定の側壁傾斜を有する前記パターン化されたフォトリソグロフィ構造に対応する

潜在パターン構造が形成される、ステップと、

前記下地層の上にフォトリソグロフィの層を形成するステップと、
マスクベースのフォトリソグロフィシステムを用いて、前記フォトリソグロフィの層を化学線のパターンで露光するステップであって、前記下地層は、前記層を露光するステップを強化し、前記所定の側壁傾斜を有する前記パターン化されたフォトリソグロフィ構造に対応する潜在パターン構造が形成される、ステップと、

前記潜在パターン構造が前記パターン化されたフォトリソグロフィ構造として前記基板上に残存するように、前記基板から前記フォトリソグロフィの一部を除去するステップと、

を有する、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記下地層を形成するステップは、前記露光の間、所定の反射率を有する材料の層を形成するステップを有し、

前記材料の層は、前記潜在パターン構造が前記所定の側壁傾斜を有するように、前記下地層に隣接する前記フォトリソグロフィの領域において前記化学線の強度を高めるように構成される、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

前記下地層を形成するステップは、前記下地層に隣接する前記フォトリソグロフィの領域において潜在パターン構造を修正するように構成された、反応性化学種を有する材料の層を形成するステップを有し、前記潜在パターン構造に前記所定の側壁傾斜が得られる、請求項3に記載の方法。

【請求項6】

前記所定の側壁傾斜は、前記パターン化されたフォトリソグロフィ構造を除去するステップの後、前記スペーサ材料の層内の応力の緩和を補償するように構成される、請求項1に記載の方法。

【請求項7】

前記側壁の前記スペーサ材料の層は、前記基板の表面に対して第1の角度を形成し、前記側壁スペーサは、前記基板の表面に対して第2の角度を形成し、該第2の角度は、前記応力の緩和のため、前記第1の角度よりも垂直に近い、請求項6に記載の方法。

【請求項8】

前記目標CDは、前記スペーサ材料の層の厚さと等しい、請求項7に記載の方法。

【請求項9】

前記パターン化されたフォトリソグロフィを形成するステップは、前記基板の異なる領域に、別の目標臨界寸法(CD)に対応する別の所定の側壁傾斜を有する別の側壁を形成するステップを有し、

前記側壁傾斜および前記別の側壁傾斜は、前記基板の異なる領域において、基板特徴部の均一なCDを提供するように構成される、請求項1に記載の方法。

【請求項10】

さらに、

前記所定の側壁傾斜を形成するステップに対応する所定の材料の下地層を形成するステップと、

前記下地層の上にフォトリソグロフィの層を形成するステップであって、前記下地層は、前記露光するステップを強化して、前記所定の側壁傾斜を有する前記パターン化されたフォトリソグロフィ構造に対応する潜在パターン構造を形成する、ステップと、

前記潜在パターン構造が、前記基板上に前記パターン化されたフォトリソグロフィ構造として残存するように、前記基板から前記フォトリソグロフィの一部を除去するステップと、

10

20

30

40

50

を有する、請求項2に記載の方法。

【請求項11】

基板をパターン化する方法であって、

基板上に抗反射コーティング層を成膜するステップであって、前記抗反射コーティング層は、溶解度シフト成分を有する、ステップと、

前記抗反射コーティング層の上にフォトレジストの層を成膜するステップと、

マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いて、前記フォトレジストの層を化学線のパターンで露光するステップであって、前記化学線のパターンの焦点は、側壁テーパーを有する構造の潜在パターンを形成する所定の点に設定され、前記構造の上側部分は、対応する中間部分の断面よりも広い断面を有する、ステップと、

前記溶解度シフト成分を前記フォトレジストの層の下側部分に拡散させるステップと、

前記フォトレジストの層を現像して、前記側壁テーパーを有するフォトレジスト構造を得るステップであって、前記フォトレジスト構造の断面幅は、前記フォトレジスト構造の上部から前記フォトレジスト構造の底部まで低下する、ステップと、

前記フォトレジスト構造の上に側壁スペーサを形成するステップであって、前記側壁スペーサは、前記フォトレジスト構造の前記側壁テーパーを採用する、ステップと、

前記フォトレジスト構造を除去するステップと、

を有し、

前記フォトレジスト構造を除去するステップにより、所与のフォトレジスト構造から側壁スペーサの上部が得られ、前記所与のフォトレジスト構造が除去されると、相互の幾何学的距離が減少する、方法。

【請求項12】

前記フォトレジストの層は、第1の波長の光に応答して第1の光酸を形成する第1の光酸発生剤を有し、

前記溶解度シフト成分は、第2の光酸であり、第2の波長の光に応答して第2の光酸を形成する第2の光酸発生剤の成分である、請求項11に記載の方法。

【請求項13】

前記第1の波長の光は、前記第2の波長の光とは異なる、請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いて、前記フォトレジストの層を前記化学線のパターンで露光するステップの後に、さらに、前記基板に対して前記第2の波長の光のフラッド露光を実施するステップを有する、請求項13に記載の方法。

【請求項15】

前記溶解度シフト成分は、前記抗反射コーティング層上に堆積された酸である、請求項11に記載の方法。

【請求項16】

前記溶解度シフト成分は、前記抗反射コーティング層内の遊離酸である、請求項11に記載の方法。

【請求項17】

前記抗反射コーティング層は、部分的に反射性であり、前記化学線のパターンの一部を、前記フォトレジストの層に向かって十分に反射させ、前記フォトレジストの層の底部でより多くの光酸が形成される、請求項11に記載の方法。

【請求項18】

前記抗反射コーティング層における前記溶解度シフト成分の濃度は、前記フォトレジストの層から形成された光酸と、前記抗反射コーティング層から形成された光酸との合計が、前記側壁テーパーを有する前記フォトレジスト構造が得られる上で十分となるように選択される、請求項11に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本出願は、2019年9月25日に出願された米国仮特許出願第62/905,604号に対する優先権を主張するものであり、その内容は参照により本願に組み込まれている。

【0002】

本願に記載の実施形態は、全般に基板のパターン化処理に関する。

【背景技術】

【0003】

(特に微細スケールにおける)半導体デバイスの製造では、膜形成堆積、エッチングマスク形成、パターニング処理、材料エッチングおよび除去、ならびにドーピング処理のような各種製造プロセスが実行される。これらのプロセスが繰り返し実施され、基板上に所望の半導体デバイス素子が形成される。ある特定の技術は、側壁スペーサ、または単純なスペーサを使用することである。スペーサは、通常、マンドレル上にスペーサ材料を共形的に成膜させることにより形成される。マンドレルは、線、メサ、または孔のような形状であってもよい。化学気相成膜(CVD)法または原子層成膜(ALD)法のような任意の各種共形成膜プロセスが使用できる。その結果、全表面(水平表面および垂直表面)を被覆する薄膜が得られ、この薄膜は、水平表面および垂直表面の両方に、ほぼ均一な厚さを有する。次に、スペーサオープンエッチングが実施される。スペーサオープンエッチングは、指向性(異方性)エッチングであり、少なくとも成膜厚さと等しい量でスペーサ材料が除去される。その結果、垂直表面(各種特徴部の側壁)にスペーサを残したまま、水平表面からスペーサ材料が除去される。次に、後続の微細加工用のマスクまたは構造として、スペーサが使用できる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従って、基板に所望の臨界寸法を有する特徴部を形成するため、スペーサが意図する構造を有することは、重要である。

【課題を解決するための手段】

【0005】

ある実施形態では、本開示により、基板をパターン化する方法であって、
基板上にパターン化されたフォトレジスト構造を形成するステップであって、前記パターン化されたフォトレジスト構造は、所定の側壁傾斜を有する側壁を有し、前記側壁傾斜は、前記基板に形成される基板特徴部の目標臨界寸法(CD)に対応する、ステップと、
前記側壁にスペーサ材料の共形層を成膜するステップと、
前記スペーサ材料が前記基板上に形成された側壁スペーサとして残存するように、前記パターン化されたフォトレジスト構造を前記基板から除去するステップと、
前記側壁スペーサをエッチングマスクとして用い、前記基板を指向性エッチングして、前記基板に前記目標CDを有する前記基板特徴部を形成するステップと、
を有する、方法が提供される。

【0006】

ある実施形態では、前記パターン化されたフォトレジスト構造を形成するステップは、マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いて、フォトレジストの層を化学線のパターンに露光するステップを有し、
前記露光は、前記所定の側壁傾斜に対応するデフォーカス点で実施される。

【0007】

ある実施形態では、前記パターン化されたフォトレジスト構造を形成するステップは、
前記所定の側壁傾斜を形成するステップに対応する所定の材料の下地層を形成するステップと、
前記下地層の上にフォトレジストの層を形成するステップと、
マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いて、前記フォトレジストの層を化学線のパターンで露光するステップであって、前記下地層は、前記層を露光するステップを強化し、前記所定の側壁傾斜を有する前記パターン化されたフォトレジスト構造に対応す

る潜在パターン構造が形成される、ステップと、

前記潜在パターン構造が前記パターン化されたフォトリソグレイ構造として前記基板上に残存するように、前記基板から前記フォトリソグレイの一部を除去するステップと、
を有する。

【0008】

ある実施形態では、前記下地層を形成するステップは、前記露光の間、所定の反射率を有する材料の層を形成するステップを有し、

前記材料の層は、前記潜在パターン構造が前記所定の側壁傾斜を有するように、前記下地層に隣接する前記フォトリソグレイの領域において前記化学線の強度を高めるように構成される。

【0009】

ある実施形態では、前記下地層を形成するステップは、前記下地層に隣接する前記フォトリソグレイの領域において潜在パターン構造を修正するように構成された、反応性化学種を有する材料の層を形成するステップを有し、前記潜在パターン構造に前記所定の側壁傾斜が得られる。

【0010】

ある実施形態では、前記所定の側壁傾斜は、前記パターン化されたフォトリソグレイ構造を除去するステップの後、前記スペーサ材料の層内の応力の緩和を補償するように構成される。

【0011】

ある実施形態では、前記側壁の前記スペーサ材料の層は、前記基板の表面に対して第1の角度を形成し、前記側壁スペーサは、前記基板の表面に対して第2の角度を形成し、該第2の角度は、前記応力の緩和のため、前記第1の角度よりも垂直に近い。

【0012】

ある実施形態では、前記目標CDは、前記スペーサ材料の層の厚さと等しい。

【0013】

ある実施形態では、前記パターン化されたフォトリソグレイを形成するステップは、前記基板の異なる領域に、別の目標臨界寸法(CD)に対応する別の所定の側壁傾斜を有する別の側壁を形成するステップを有し、

前記側壁傾斜および前記別の側壁傾斜は、前記基板の異なる領域において、基板特徴部の均一なCDを提供するように構成される。

【0014】

別の実施形態は、さらに、

前記所定の側壁傾斜を形成するステップに対応する所定の材料の下地層を形成するステップと、

前記下地層の上にフォトリソグレイの層を形成するステップであって、前記下地層は、前記露光ステップを強化して、前記所定の側壁傾斜を有する前記パターン化されたフォトリソグレイ構造に対応する潜在パターン構造を形成する、ステップと、

前記潜在パターン構造が、前記基板上に前記パターン化されたフォトリソグレイ構造として残存するように、前記基板から前記フォトリソグレイの一部を除去するステップと、
を有する。

【0015】

ある実施形態では、本開示により、基板をパターン化する方法であって、

基板上に抗反射コーティング層を成膜するステップであって、前記抗反射コーティング層は、溶解度シフト成分を有する、ステップと、

前記抗反射コーティング層の上にフォトリソグレイの層を成膜するステップと、

マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いて、前記フォトリソグレイの層を化学線のパターンで露光するステップであって、前記化学線のパターンの焦点は、側壁テーパを有する構造の潜在パターンを形成する所定の点に設定され、前記構造の上側部分は、対応する中間部分の断面よりも広い断面を有する、ステップと、

10

20

30

40

50

前記溶解度シフト成分を前記フォトレジストの層の下側部分に拡散させるステップと、
前記フォトレジストの層を現像して、前記側壁テーパーを有するフォトレジスト構造を得るステップであって、前記フォトレジスト構造の断面幅は、前記フォトレジスト構造の上部から前記フォトレジスト構造の底部まで低下する、ステップと、
を有する、方法が提供される。

【0016】

ある実施形態では、前記フォトレジストの層は、第1の波長の光に応答して第1の光酸を形成する第1の光酸発生剤を有し、

前記溶解度シフト成分は、第2の光酸であり、第2の波長の光に応答して第2の光酸を形成する第2の光酸発生剤の成分である。

10

【0017】

ある実施形態では、前記第1の波長の光は、前記第2の波長の光とは異なる。

【0018】

別の実施形態は、前記マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いて、前記フォトレジストの層を前記化学線のパターンで露光するステップの後に、さらに、前記基板に対して前記第2の波長の光のフラッド露光を実施するステップを有する。

【0019】

ある実施形態では、前記第1の波長の光は、前記第2の波長の光と等しい。

【0020】

ある実施形態では、前記マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いた、前記化学線のパターンでの露光は、前記第2の光酸発生剤から光酸の量を生成する上で十分である。

20

【0021】

ある実施形態では、前記溶解度シフト成分は、前記抗反射コーティング層上に堆積された酸である。

【0022】

ある実施形態では、前記溶解度シフト成分は、前記抗反射コーティング層内の遊離酸である。

【0023】

別の実施形態は、さらに、

前記フォトレジスト構造の上に側壁スペーサを形成するステップであって、前記側壁スペーサは、前記フォトレジスト構造の前記側壁テーパーを採用する、ステップと、

30

前記フォトレジスト構造を除去するステップと、

を有する。

【0024】

ある実施形態では、前記フォトレジスト構造を除去するステップにより、所与のフォトレジスト構造から側壁スペーサの上部が得られ、前記所与のフォトレジスト構造が除去されると、相互の幾何学的距離が減少する。

【0025】

ある実施形態では、前記抗反射コーティング層は、部分的に反射性であり、前記化学線のパターンの一部を、前記フォトレジストの層に反射させるには十分であり、前記フォトレジスト層の底部でより多くの光酸が形成される。

40

【0026】

ある実施形態では、前記抗反射コーティング層における前記溶解度シフト成分の濃度は、前記フォトレジストの層から形成された光酸と、前記抗反射コーティング層から形成された光酸との合計が、前記側壁テーパーを有する前記フォトレジスト構造が得られる上で十分となるように選択される。

【0027】

ある実施形態では、本開示により、基板をパターン化する方法であって、
基板上に抗反射コーティング層を成膜するステップと、

50

前記抗反射コーティング層の上にフォトレジストの層を成膜するステップと、

マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いて、前記フォトレジストの層を化学線のパターンで露光するステップであって、前記化学線のパターンの焦点は、側壁テーパを有する構造の潜在パターンが形成される所定の点に設定され、前記構造の上側部分が、対応する下側部分の断面に比べて広い断面を有する、ステップと、

前記フォトレジストの層を現像して、前記側壁テーパを有するフォトレジスト構造を得るステップであって、前記フォトレジスト構造の断面幅は、前記フォトレジスト構造の上部から前記フォトレジスト構造の底部まで低下する、ステップと、

を有する、方法が提供される。

【0028】

ある実施形態では、本開示により、基板をパターン化する方法であって、

基板上に形成されたスペーサから得られる有効なスペーサCDを同定するステップと、

基板上に抗反射コーティング層を成膜するステップと、

前記抗反射コーティング層の上にフォトレジストの層を成膜するステップと、

マスクベースのフォトリソグラフィシステムを用いて、前記フォトレジストの層を化学線のパターンで露光するステップであって、前記化学線のパターンの焦点は、所定の側壁テーパを有する構造の潜在パターンが形成される所定の点に設定される、ステップと、

前記フォトレジストの層を現像するステップであって、所定の側壁テーパを有するフォトレジスト構造が得られる、ステップと、

前記フォトレジスト構造の上に側壁スペーサを形成するステップであって、前記側壁スペーサは、前記所定の側壁テーパを採用する、ステップと、

前記基板から前記フォトレジスト構造を除去するステップであって、修正された側壁テーパを有する前記側壁スペーサが得られ、前記側壁スペーサにより、定められたパターンを下地層に転写する際に、前記有効なスペーサCDが形成される、ステップと、

を有する、方法が提供される。

【0029】

本要約は、本開示または特許請求の範囲に記載の発明の各実施形態および／または付加的な新たな態様を特定するものではないことが留意される。むしろ、本要約は、異なる実施形態および従来の技術を超える新規な対応点について、予備的な議論を提供するものに過ぎない。本発明ならびに実施形態の追加の細部および／または想定される見解に関し、読者は、以降でさらに議論されるような本開示の詳細な説明および対応する図面に誘導される。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】基板をパターン化する方法のフローチャートである。

【図2】3つの異なるレジストプロファイルの態様を示した図である。スペーサラップ処理の後、一定のスペーサ厚さを形成するレジストプロファイル、ならびにスペーサエッチングマンドレルプル（SEMP）エッチング後のレジストプロファイルの各々における、有効臨界寸法と実際の臨界寸法との関係を示す。

【図3】3つの異なるレジストプロファイルを示した図である。「ーデフォーカス」用のレジストは、上部に向かって狭くなる幅広の底部を有し、「インフォーカス」用のレジストは、ほぼ等しい幅の上部および底部を有し、「+デフォーカス」用のレジストは、底部に向かって狭くなる幅広の上部を有する。

【図4】可変フォーカスにより調整されるレジストプロファイルを示す断面透過型電子顕微鏡像（TEM）画像を示した図である。線量＝ $34\text{ mJ}/\text{cm}^2$ である。

【図5】下地層に設置された反応性化学種を介してプロファイルを制御する例を示した図である。下地層は、酸生成用の反応性化学種（例えば、光酸発生剤PAG）を含み、その後、酸は、フォトレジスト内に拡散され、フォトレジストの底部における酸の濃度が上昇する。

【図6】下地層に設置された反応性化学種の濃度の関数としてのレジストプロファイルを示した図である。例えば、下地層において、酸の量が増加すると、レジストにおける濃度

10

20

30

40

50

勾配は、急峻になる。

【発明を実施するための形態】

【0031】

背景技術において述べたように、基板に所望の臨界寸法(CD)を有する特徴部を形成するためには、スペーサが意図された構造を有することが重要である。スペーサは、任意の材料のマンドレル上に形成することができる。通常、形状的レリーフパターンに形成される第1の材料は、フォトレジストである。従って、フォトレジストパターン上にスペーサを形成することが望ましい。マンドレルとしてフォトレジストを使用する際の重要な課題は、フォトレジストが比較的柔らかい材料であり、しばしば、垂直プロファイルを持たないプロファイルで現像されることである。フォトリソグラフィ露光がどのように実施されるかに依存して、側壁は、内側または外側に傾き得る。また、スペーサがフォトレジストまたは他の軟性マンドレル上に成膜される場合、成膜された薄膜の圧縮応力または引張応力は、軟性マンドレルのプロファイルを変化させ得る。例えば、スペーサが基板の表面に対して傾斜し、または完全な垂直ではなくなる可能性がある。スペーサは、しばしば、指向性エッチングを使用してパターンを転写する際のエッチングマスクとして使用される。その後、傾斜したスペーサは、有効臨界寸法をスペーサの厚さよりもずっと大きくする可能性がある。

【0032】

フォトレジストマンドレルを使用する別の課題は、フォトレジストが基板上にある間は、側壁スペーサが第1の角度を有するものの、フォトレジストが除去される(掘り出される)際、この除去プロセスにより、しばしば、側壁スペーサの基板に対する角度が変化することである。従って、初期の側壁スペーサが基板に対して完全に垂直な場合であっても、マンドレルの除去プロセスの結果、側壁スペーサは異なる角度を示し、相互に向かってより大きく傾く可能性がある。

【0033】

図1は、基板をパターン化する一実施形態の方法100を介したフローチャートである。

【0034】

第1のステップS101では、基板上にパターン化されたフォトレジスト構造が形成され、パターン化されたフォトレジスト構造は、所定の側壁傾斜を有する側壁を有する。この傾斜は、基板に形成される基板特徴部の目標臨界寸法に対応する。次に、S102は、側壁上にスペーサ材料の共形層を成膜するステップである。次に、S103は、基板上に形成された側壁スペーサとして、スペーサ材料が残存するように、パターン化されたフォトレジスト構造を基板から除去するステップである。最後に、S104は、側壁スペーサをエッチングマスクとして使用して基板を指向性エッチングし、基板に目標CDを有する基板特徴部を形成するステップである。基板上のパターン化されたフォトレジスト構造は、開示された1つまたは2つ以上の技術を用いて形成することができ、これには、逆行フォーカス(retrograde focus)、反射率を調節するための下地層、および／または反応性化学種が装填された下地層により、所定の側壁テーパまたは傾斜を形成することが含まれる。

【0035】

開示の技術では、ソフトマンドレル上に形成されたスペーサの効果的なスペーサCD制御が提供される。すなわち、開示の技術では、各種方法を用いて、異なる入力フォトレジスト(すなわち、レジスト)のプロファイルを調整または修正することができる。図2には、レジストプロファイルの形態、および結果として得られる有効スペーサCDの概念図を示す。基板上の3つの異なるレジストプロファイルの断面図は、図2の上／第1行目(「3つの異なるレジストプロファイル」と称されている)に示されており、左側のフォトレジストマンドレル(「-デフォーカス」と称されている)は、幅広のベース部を有し、上部に向かって狭くなり、中央のフォトレジストマンドレル(「インフォーカス」と称されている)は、ほぼ同じ幅のベース部および上部を有し、右側のフォトレジストマンドレル(「+デフォーカス」と称されている)は、幅広の上部を有し、ベース部に向かって狭くなる。本願において使用される「有効スペーサCD」という用語は、RIE(反応性イオンエッチング)転

写中に投影されるCDを表す。換言すれば、z方向から見た場合、傾斜したスペーサは、その厚さよりも大きな影を形成し、この影の領域が有効CDとなり得る。本願で使用される「実際のCD」という用語は、スペーサの厚さを表す。スペーサが垂直またはほぼ垂直な配向を有する場合、実際のCDは、RIE転写の間に転写される。有効CDと実際のCDの間の関係の例示は、図2の下／3行目に示されている（「有効CDと実際のCDの関係」と記載されている）。

【0036】

RIEエッチングは指向性(異方性)エッチングであるため、転写されるパターンは、マスクの陰になる。従って、傾斜スペーサは、所定のスペーサの厚さ以上の陰を形成し得る。その後、転送されたCDは、傾斜からの陰のため、実際のCDよりも大きく見える。これは、図2の底部の段に示されている。シャドウイングまたは有効CDの量は、傾斜角に依存することが留意される。図2の第1行目には、どのようにして入射レジストプロファイルが各種程度の側壁角を有し得るかを示す。図2の第2行目／中間行（「一定スペーサ厚さ」と記載されている）では、スペーサラップからの成膜されたスペーサが、入射レジストマンドレルのプロファイルに追従できる。また、一部のスペーサ材料は、所与のフォトレジスト材料をさらに圧縮できる。

【0037】

スペーサ成膜は、ほぼ均一なプロセスであり、スペーサCDを調節するため、単一ウェハ上の位置の関数として成膜量を制御することはできない。換言すれば、成膜は、ウェハ全体にわたって均一である。しかしながら、開示の技術では、クロスウェハ制御のため、プロセスを調節する追加ノブを提供することにより、ウェハの特定の位置で有効スペーサCDが制御される。次に、スペーサは、所望の有効CDに応じて修正されたプロファイルを有するフォトレジスト上に直接成膜され得る。側壁スペーサは、フォトレジストが基板上にある間、第1の角度を有し得るものの、フォトレジストが除去される(発掘される)と、この除去プロセスでは、しばしば、基板に対する角度が変化する側壁スペーサが生じ得ることが留意される。従って、初期の側壁スペーサが基板に対して完全に垂直である場合でも、マンドレル除去プロセスでは、相互に向かって大きく傾斜したような、異なる角度を有する側壁スペーサが生じ得る。これは、図2に見られる。図2の左側（「デフォーカス」列）に示されているように、フォトレジストマンドレルが上部よりも幅広のベース部を有する場合、傾斜した側壁スペーサがあり、除去後に、傾斜角が増加する。図2の中央列（「インフォーカス」列）に示すように、完全に垂直なスペーサを用いた場合でも、フォトレジストマンドレルを除去すると、スペーサの傾斜が生じ得る。従って、本願の技術には、逆傾斜または逆方向テーパを有するフォトレジストマンドレルを形成するステップが含まれる。例えば、マンドレルは、ベース部に向かって狭くなる幅広の上部を有する。次に、最初に形成された側壁スペーサは、基板に対して垂直ではないが、フォトレジストマンドレルの除去後、図2の右側の列（「+デフォーカス」列）に見られるように、基板に対して直角または垂直なスペーサが得られる。従って、ある実施形態では、直線的な側壁スペーサが得られる逆テーパ(すなわち、逆行)プロファイルが提供される。すなわち、側壁上のスペーサ材料の層は、第1の所定の角度を形成してもよい。これは、基板表面に対して垂直ではないものの、フォトレジストの除去の際、応力の緩和を補償するように設計される。次に、フォトレジストの除去後、側壁スペーサは、第2の角度を形成し、これは、応力の緩和により、垂直に接近させる(第1の角度よりも垂直に近くする)ことができる。

【0038】

ある実施形態は、逆行フォーカス技術を含む。これは、焦点を調節して、有効スペーサCDに影響を及ぼすレジストのプロファイルおよび側壁角度(SWA)を調節するステップを有する。フォーカスオフセットは、スキャナまたは独立式プラットフォームで実施できる。図3には、インフォーカスの(焦点が合った)レジスト204、フォーカスが減少したレジスト202、およびフォーカスが増大したレジスト206の結果を示す。露光パターンの焦点は、本質的に、フォトレジストの層の周囲よりも高い点まで高められ、その後、一般的に使用される。これは、z方向における焦点の変化である。この正のデフォーカスの結果

10

20

30

40

50

、ある角度で側壁が露光されると、あるフォトレジストの場合、焦点の中心点の変化は、露光により、フォトレジスト層の底部で脱保護反応が生じ難くなることを意味する。図4は、露光の焦点 f を調整することにより調整されるフォトレジストの断面拡大画像である。この特定の例では、線量は $34\text{ mJ}/\text{cm}^2$ であった。図4の右側 ($f=-40\text{ nm}$) の画像では、ライン(マンドレル)の上側部分は、逆テーパを有するものの、各ラインは、フッタを有することが留意される。従って、本技術では、露光を高め、フッタの除去を補助することもできる。

【0039】

本願の技術は、二次酸(または塩基)の供給を使用し、初期露光を高め、フッタを除去するステップを有する。いくつかの代替的な実施形態がある。

【0040】

ある実施形態では、反応性化学種は、下地層(例えば、抗反射コーティング(ARC)層)に装填される。反応性化学種の一例は、酸である。下地層内の酸は、下地層からレジスト内に拡散し、従って、露光領域の底部の酸濃度を増加させる。過剰な光は、光を反射する代わりに吸収し(定常波に苦慮しない)、レジストの底部に拡散する追加の酸を形成し、足部の軽減および側壁角の調整が助長される。従って、下地層は、露光ステップを増強または強めることができ、下地層がない場合に比べて、高濃度の酸が提供される。これにより、露光後のレジストの現像の際に、対応するレジストのより大きな除去が提供される。別の例として、下地層は、塩基を有し、これは、露光ステップを増強または強化することができ、下地層がない場合よりも高濃度の塩基が提供される。これにより、露光後のレジストの現像の際に、対応するレジストのより少ない除去が提供される。さらに、下地層は、ある程度まで反射性にすることができ、これにより、放射線強度が増加し、下地層との界面の近傍のフォトレジスト自体から、より高濃度の酸を放出させることができる。図5は、下地層充填によるマスクベースのリソグラフィ露光の進行を示す基板セグメントの図である。図5は、レジスト406(すなわち、フォトレジスト)、下地層404、および基板402を有する。この実施例では、下地層404(すなわち、下地層)は、酸(例えば H^+)を発生させる光酸発生剤(PAG)を有する。あるいは、塩基を用いることもできる。PAGは、マスクベースの露光からの化学放射408に対して反応性である。酸発生の後、酸は、ベークステップにより、レジスト406内に拡散される。これにより、レジスト406の底部における酸の濃度が上昇する。フォトレジスト406の層は、PAGのような光反応性化学種を有するが、フォトレジスト406の層の下部での活性化は、フォトレジスト406の層の上部での活性化よりも小さいことが留意される。従って、下地層からフォトレジスト406の層に持ち込まれ得る酸の第2の供給は、均一な保護/脱保護(溶解度変化)を助長し、現像の間、分解能または側壁角を高めることが可能となる。

【0041】

図6には、下地層404に充填される反応性種負荷の使用が、どのように足部の緩和としても同様に使用され得るかを示す。プロファイルは、下地層404に充填される反応性種濃度の関数である。この例では、フォトレジスト406の異なる形状により示されるように、下地層404における酸の量が増加するとともに、レジストの濃度勾配は、より急峻になる。

【0042】

2つの異なるPAG(1つはフォトレジスト内にあり、1つはARC層内にある)を有する実施形態では、それらは、同じ波長の光または異なる波長の光(帯域外照明)に応答することができる。例えば、 193 nm の波長スキャナを用いた初期パターン化露光の後、I線フラッド露光を実施して、ARC中のPAG量を活性化することができる。フラッド露光では、光酸が均一に生じるものの、発生量は、それ自身のみでは、フォトレジスト層を溶解させるには不十分であること、しかしながら、別の酸と組み合わせると、その合計は、溶解に十分であることが留意される。例えば、トレンチがある量の酸を受容し、下地層が残りの量の酸を提供して、フッタ(脚部)を除去し、逆テーパプロファイルを形成することができる。別の実施形態では、3つ以上のPAGを使用して、所望の結果を達成してもよい。

【0043】

別の実施形態では、下地層の反射率が調節される。所与の下地層の反射率の量は、材料組成を変化させることによって調整される。下地層からより多くの光を反射することにより、下地層近傍の酸濃度が増加し、レジストプロファイルに影響が与えられる。別の実施形態では、抗反射コーティングの厚さは、所望の酸濃度および／または反射率のために調整することができる。

【0044】

従って、ある例示的な実施形態では、サブナノメートルからナノメートルの補正による側壁角の調整により、有効CDを調整することができる。

【0045】

前述の記載では、処理システムの特定の幾何形状、ならびに使用される各種部材およびプロセスの記載のような、特定の細部が説明されている。しかしながら、記載の技術は、これらの特定の細部とは異なる別の実施形態において実施されてもよく、そのような細部は、説明目的用であって、限的なものではないことが理解される必要がある。添付図面を参照して、本願に開示の実施形態を説明した。同様に、完全な理解のため、説明の目的で、特定の数、材料、および構成が示されている。ただし、実施形態は、そのような特定の細部を有せずに実施されてもよい。実質的に同じ機能的構成を有する部材は、同様の参照符号により表され、従って、任意の冗長な説明は、省略され得る。

【0046】

各種技術が複数の別個の操作として記載され、各種実施形態の理解が支援されている。記載の順序は、これらの操作が順番に依存して実施されることを意味するものと解してはならない。実際、これらの操作は、記載の順序で実施される必要はない。記載の操作は、記載された実施形態とは異なる順序で実施されてもよい。追加の実施形態において、各種追加の操作が実施され、および／または記載の操作が省略されてもよい。

【0047】

本願に使用される「基板」または「対象基板」は、全般に、本発明により処理される物体を表す。基板は、任意の材料部分またはデバイスの構造を含んでもよく、特に、半導体または他の電子デバイスを含んでもよく、例えば、半導体ウェハ、レチクル、または薄膜のようなベース基板構造の上にあり、もしくはこれを覆う層のような、ベース基板構造であってもよい。従って、基板は、任意の特定のベース構造、下部層もしくは上部層、パターン化もしくは非パターン化に限定されるものではなく、むしろ、任意のそのような層もしくはベース構造、ならびに層および／またはベース構造の任意の組み合わせを含むことが思慮される。記載は、特定の種類の基板を参照してもよいが、これは、単なる例示目的に過ぎない。

【0048】

また、当業者には、本発明と同じ目的を達成できるものの、前述の技術の操作を行い得る多くのバリエーションがあることが理解される。そのような変形は、本開示の範囲によって網羅されることが意図される。従って、本発明の実施形態の前述の説明は、限定的なものではない。むしろ、本発明の実施形態に対する任意の限定は、以下の特許請求の範囲に提示される。

10

20

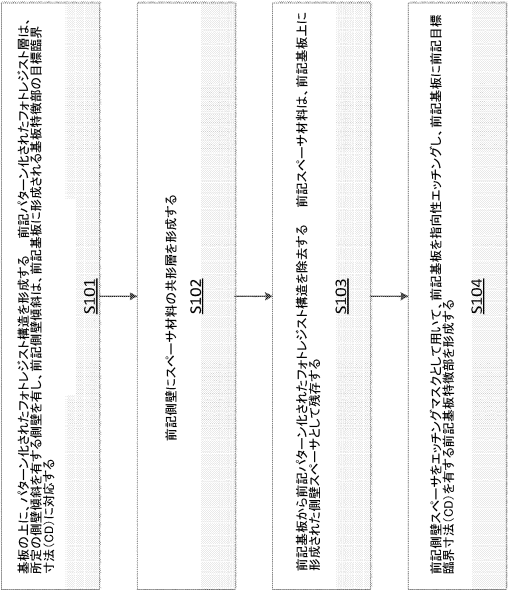
30

40

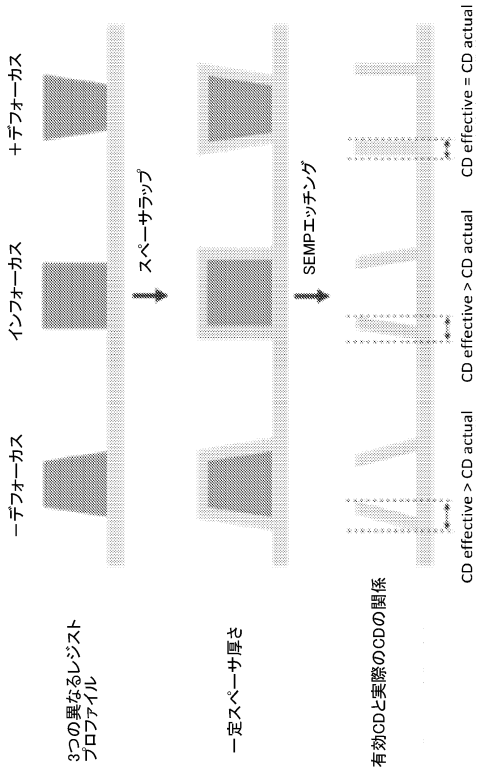
50

【図面】
【図 1】

100



【図 2】



10

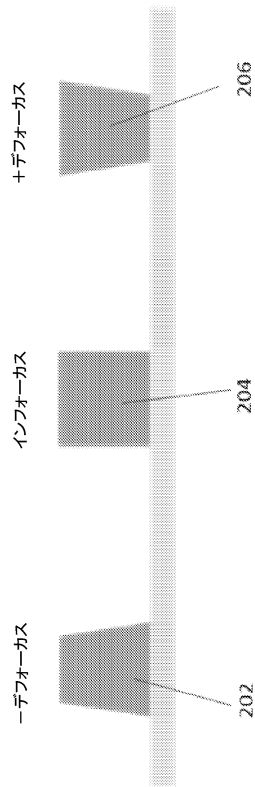
20

30

40

50

【図 3】



【図 4】

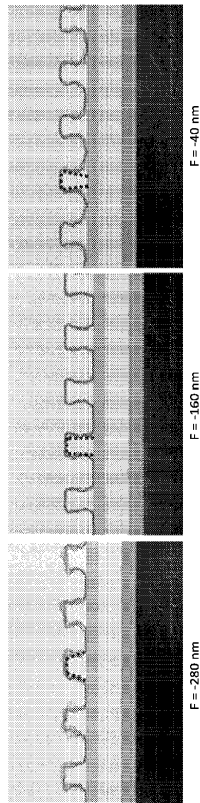
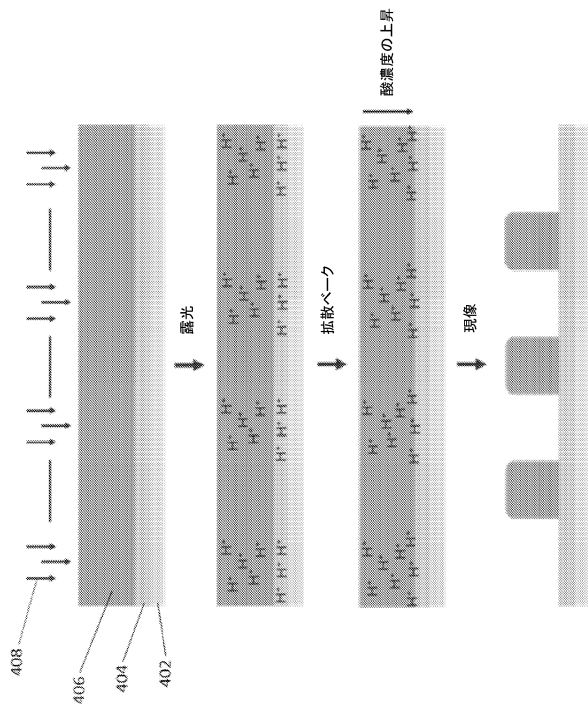
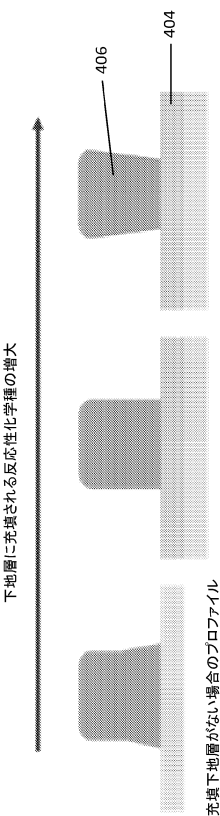


FIG. 4

【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

55, スイート 214, ナノファブ 300 サウス
(72)発明者 デヴィリアーズ, アントン ジェイ.
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 12203, オールバニー, フラー ロード 255, スイート
214, ナノファブ 300 サウス
審査官 藤本 加代子
(56)参考文献 特開2015-069173 (JP, A)
特開2003-140352 (JP, A)
特表2017-507372 (JP, A)
特開平04-338959 (JP, A)
特開平09-082596 (JP, A)
特開2010-287890 (JP, A)
韓国公開特許第10-2012-0063390 (KR, A)
韓国公開特許第10-2007-0117347 (KR, A)
米国特許出願公開第2019/0237330 (US, A1)
特表2014-534641 (JP, A)
米国特許出願公開第2017/0358450 (US, A1)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G03F 7/20
H01L 21/3065