

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】第 6 部門第 2 区分
 【発行日】平成30年2月15日 (2018.2.15)

【公開番号】特開2017-227892(P2017-227892A)
 【公開日】平成29年12月28日 (2017.12.28)
 【年通号数】公開・登録公報2017-050
 【出願番号】特願2017-116554(P2017-116554)
 【国際特許分類】

G 0 3 F 1/36 (2012.01)

H 0 1 L 21/3065 (2006.01)

【 F I 】

G 0 3 F 1/36

H 0 1 L 21/302 1 0 5 A

【手続補正書】

【提出日】平成29年12月21日 (2017.12.21)

【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】

エッチング動作で用いられるフォトリソスト用の近接効果補正された設計レイアウトを生成する方法であって、

(a) 初期設計レイアウトを受信する工程と、

(b) 前記初期設計レイアウト内のフィーチャを特定する工程であって、前記フィーチャのパターンは、前記初期設計レイアウトに対応するフォトリソストパターンの層が材料スタックに重ねられた時に、1 セットの処理条件下で処理チャンバ内で実行されるプラズマベースのエッチング処理で半導体基板の表面上の前記材料スタックにエッチングされるフィーチャに対応する、工程と、

(c) かかるプラズマベースのエッチング処理中の時間 t における前記フィーチャ内でのフィーチャ内プラズマフラックス (I F P F) に特徴的な 1 または複数の量を推定する工程と、

(d) 時間 t における前記フィーチャのエッジのエッジ配置誤差 (E P E) に特徴的な量を、工程 (c) で推定された前記 I F P F に特徴的な前記 1 または複数の量と、時間 t における E P E に特徴的な前記量の値を前記 I F P F に特徴的な前記 1 または複数の量の値に関連づけるルックアップテーブル (L U T) 内の量とを比較することによって推定する工程と、

(e) E P E に特徴的な前記量に基づいて、前記初期設計レイアウトを修正する工程と、を備え、

前記 L U T は、前記材料スタック上に重ねられたフォトリソストの較正パターンに対して少なくとも時間 t まで前記 1 セットの処理条件のもとでコンピュータエッチングプロファイルモデル (E P M) を実行することによって構築されたものである、方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、さらに、

パターンが前記初期設計レイアウト内にある 1 または複数のさらなるフィーチャについて、工程 (b) ~ (d) を繰り返す工程を備え、

工程 (e) で前記初期設計レイアウトを修正することは、さらに、前記 1 または複数の

さらなるフィーチャの E P E に特徴的な前記推定量に基づく、方法。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の方法であって、工程 (c) において、前記 I F P F に特徴的な前記 1 または複数の量は、

フィーチャ内プラズマイオンフラックス (I F P I F) に特徴的な量と、

フィーチャ内プラズマ中性フラックス (I F P N F) に特徴的な量と、

を含む、方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の方法であって、 I F P N F に特徴的な前記量は、前記処理チャンバ内の前記基板の存在を考慮した前記フィーチャ上方の負荷プラズマフラックスである、方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の方法であって、前記負荷プラズマフラックスは、前記処理チャンバ内のファーフイルドの全体のプラズマフラックスに特徴的な 1 または複数の量に基づいて、工程 (c) で推定される、方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の方法であって、ファーフイルドの全体のプラズマフラックスに特徴的な前記 1 または複数の量は、処理チャンバ条件を考慮するが前記処理チャンバ内の前記基板の存在を考慮しないコンピュータプラズマモデルで計算される、方法。

【請求項 7】

請求項 3 に記載の方法であって、前記 I F P I F に特徴的な前記量は、前記フィーチャに対応する可視性カーネル (V C) に基づいて、工程 (c) で推定される、方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の方法であって、前記 I F P I F に特徴的な前記量は、前記フィーチャ上方の 1 または複数のプラズマイオンフラックス (P I F) に対応するイオンエネルギー分布関数 (I E A D F) で前記 V C の積分を推定することを含む手順によって計算される、方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の方法であって、前記 I E A D F は、処理チャンバ条件を考慮したコンピュータプラズマモデルで計算された前記処理チャンバ内のファーフイルドの全体のプラズマフラックスに特徴的な 1 または複数の量に基づいて推定される、方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、前記 V C は、前記フィーチャが、フォトレジストの前記初期設計レイアウトに対応する開口部を有し、前記開口部のエッジから下向きに伸びる実質的に垂直な側壁を有することを仮定することによって、工程 (c) で推定される、方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の方法であって、さらに、

(c') 工程 (d) で推定された前記 E P E に基づいて、前記フィーチャの前記 V C を再推定する工程と、

(d') 工程 (c') で再推定された前記可視性カーネルの値と前記 L U T 内の値とを比較することにより、時間 t における E P E に特徴的な前記量を再推定する工程と、
を備え、

前記初期設計レイアウトは、さらに、工程 (d') からの時間 t における E P E に特徴的な前記量の前記再推定された値に基づいて、工程 (e) で修正される、方法。

【請求項 12】

請求項 3 に記載の方法であって、前記 L U T は、エントリのリストを含み、前記エントリの少なくとも一部は、 I F P I F に特徴的な前記量、 I F P N F に特徴的な前記量、および、 E P E に特徴的な前記対応する量のためのフィールドを備える、方法。

【請求項 13】

請求項 1 2 に記載の方法であって、前記 L U T 内の前記エントリの少なくとも一部は、さらに、エッチング時間および / またはフィーチャ深さのための 1 または複数のフィールドを備える、方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 2 に記載の方法であって、前記 L U T 内の前記エントリの少なくとも一部は、さらに、フィーチャ内不動態化蒸着フラックス (I F P D F) のためのフィールドを備える、方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 2 に記載の方法であって、前記 L U T 内の前記エントリの少なくとも一部は、さらに、前記較正パターン内に存在するエッジ形状に対応するエッジ形状インジケータのためのフィールドを備える、方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載の方法であって、さらに、前記フィーチャの形状と前記較正パターン内に存在する前記フィーチャの形状とをパターンマッチングすることにより、エッチングされる前記フィーチャのエッジ形状インジケータを決定する工程と、前記決定されたエッジ形状インジケータを前記 L U T での検索に用いる工程と、を備える、方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載の方法であって、前記 L U T は、最初に、前記フィーチャの決定されたエッジ形状インジケータに基づいて検索される、方法。

【請求項 1 8】

請求項 1 2 に記載の方法であって、
前記 L U T は、前記エントリの 1 または複数のフィールドに基づいてソートされ、
工程 (d) での比較は、前記 L U T での検索を含み、
工程 (d) での推定は、前記検索後に前記 L U T 内のエントリの間を補間することを含む、方法。

【請求項 1 9】

請求項 1 8 に記載の方法であって、前記補間は、多変量ベースの補間スキームを含む、方法。

【請求項 2 0】

請求項 1 または 2 に記載の方法であって、E P E に特徴的な前記量は、動作中に、I F P F に特徴的な 1 または複数の量を前記 L U T 内の量と比較し、前記 L U T 内の値の間を補間するトレーニングされた機械学習モデル (M L M) を用いて、工程 (d) で推定され、

前記 M L M は、前記コンピュータ E P M を実行することによって生成されたデータセットでトレーニングされたものであり、前記データセットの少なくとも一部は、前記 L U T を構築するために用いられたものである、方法。

【請求項 2 1】

請求項 1 または 2 に記載の方法であって、
工程 (c) および (d) は、時間 t_1 における E P E に特徴的な量を推定するために、 $t = t_1$ に対して実行され、
前記方法は、さらに、時間 t_2 における E P E に特徴的な量を推定するために、 $t = t_2$ ($> t_1$) に対して工程 (c) および (d) を実行する工程を備え、
前記初期設計レイアウトは、時間 t_1 および t_2 における E P E に特徴的な前記量の前記推定された値に基づいて、工程 (e) で修正され、
前記 L U T は、少なくとも時間 t_2 まで前記 E P M を実行することによって構築される、方法。

【請求項 2 2】

マスク設計を生成する方法であって、
請求項 1 または 2 の方法を用いて、フォトレジスト用の近接効果補正された設計レイアウトを生成する工程と、

前記生成された近接効果補正済みのフォトレジスト設計レイアウトに基づいて、マスク設計を生成する工程と、
を備える、方法。

【請求項 2 3】

半導体基板をエッチングする方法であって、
請求項 2 2 の方法を用いて、マスク設計を生成する工程と、
前記マスク設計に基づいて、マスクを形成する工程と、
前記マスクを用いてフォトリソグラフィ動作を実行し、前記近接効果補正済みのフォトレジスト設計レイアウトに実質的に従って、フォトレジストの層を前記基板に転写する工程と、

前記基板をエッチングするプラズマに前記基板を暴露させる工程と、
を備える、方法。

【請求項 2 4】

請求項 1 または 2 に記載の方法であって、工程 (d) で用いられる前記 LUT を構築するためにフォトレジストの前記較正パターン上で実行する前記コンピュータエッチングプロファイルモデル (EPM) は、複数のモデルパラメータを用いて、半導体基板上のフィーチャの前記エッチングプロファイルを 1 セットの独立入力パラメータに関連づけるモデルであり、前記モデルは、

(1) 最適化されるよう選択されたセットの前記モデルパラメータに対する 1 セットの値を特定する工程と、

(2) それらにわたって最適化されるよう選択されたセットの独立入力パラメータに対する複数セットの値を特定する工程と、

(3) 工程 (2) で特定された各値セットについて、工程 (2) で特定された前記値セットを用いて実行された実験エッチング処理の光学測定から生成された実験反射スペクトルを受信する工程と、

(4) 工程 (2) で特定された各値セットについて、工程 (1) および (2) で特定された前記値セットを用いて、前記モデルから計算反射スペクトルを生成する工程と、

(5) 前記選択されたセットのモデルパラメータに対して工程 (1) で特定された 1 または複数の値を修正し、工程 (3) で受信された前記実験反射スペクトルと、工程 (2) で特定された前記選択された独立入力パラメータの 1 または複数セットの値に関して工程 (4) で生成された対応する計算反射スペクトルとの間の差を示すメトリックを小さくするために、前記修正された値セットで工程 (4) を繰り返す工程であって、

工程 (5) で前記メトリックを計算することは、

前記計算反射スペクトルと、対応する実験反射スペクトルとの間の差を計算して、前記差を縮小次元部分空間に射影する工程、および / または、

前記計算反射スペクトルおよび対応する実験反射スペクトルを縮小次元部分空間に射影して、前記部分空間に射影された前記反射スペクトル間の差を計算する工程を含む、工程と、

を備える方法によって最適化されたものである、方法。

【請求項 2 5】

請求項 1 または 2 に記載の方法であって、工程 (d) で用いられる前記 LUT を構築するためにフォトレジストの前記較正パターン上で実行する前記コンピュータエッチングプロファイルモデル (EPM) は、複数のモデルパラメータを用いて、半導体基板上のフィーチャの前記エッチングプロファイルを 1 セットの独立入力パラメータに関連づけるモデルであり、前記モデルは、

(1) 最適化されるよう選択されたセットの前記モデルパラメータに対する 1 セットの値を特定する工程と、

(2) それらにわたって最適化されるよう選択されたセットの独立入力パラメータに対する複数セットの値を特定する工程と、

(3) 工程 (2) で特定された各値セットについて、工程 (2) で特定された前記値セッ

トを用いて実行された実験エッチング処理に起因する実験エッチングプロファイルを受信する工程と、

(4) 工程(2)で特定された各値セットについて、工程(1)および(2)で特定された前記値セットを用いて、前記モデルから計算エッチングプロファイルを生成する工程と、

(5) 前記選択されたセットのモデルパラメータに対して工程(1)で特定された1または複数の値を修正し、工程(3)で受信された前記実験エッチングプロファイルと、工程(2)で特定された前記選択された独立入力パラメータの全セットの値について工程(4)で生成された対応する計算エッチングプロファイルとの間の合計差を示すメトリックを小さくするために、前記修正された値セットで工程(4)を繰り返す工程であって、

工程(5)で前記メトリックを計算することは、

前記計算エッチングプロファイルと、対応する実験エッチングプロファイルとの間の差を計算して、前記差を縮小次元部分空間に射影する工程、および/または、

前記計算エッチングプロファイルおよび対応する実験エッチングプロファイルを縮小次元部分空間に射影して、前記部分空間に射影された前記エッチングプロファイル間の差を計算する工程を含む、工程と、

を備える方法によって最適化されたものである、方法。

【請求項26】

エッチング動作で用いられるフォトリソスト用の近接効果補正された設計レイアウトを生成するためのコンピュータシステムであって、

プロセッサと、

ルックアップテーブル(LUT)、および、前記プロセッサ上で実行されるコンピュータ読み取り可能な命令を格納するメモリと、

を備え、

前記命令は、

(a) 初期設計レイアウトを受信するための命令と、

(b) 前記初期設計レイアウト内のフィーチャを特定するための命令であって、前記フィーチャのパターンは、前記初期設計レイアウトに対応するフォトリソストパターンの層が材料スタックに重ねられた時に、1セットの処理条件下で処理チャンバ内で実行されるプラズマベースのエッチング処理で半導体基板の表面上の前記材料スタックにエッチングされるフィーチャに対応する、命令と、

(c) かかるプラズマベースのエッチング処理中の時間tにおける前記フィーチャ内でのフィーチャ内プラズマフラックス(IFPF)に特徴的な1または複数の量を推定するための命令と、

(d) 時間tにおける前記フィーチャのエッジのエッジ配置誤差(EPE)に特徴的な量を、(c)で推定された前記IFPFに特徴的な前記1または複数の量と、時間tにおけるEPEに特徴的な前記量の値を前記IFPFに特徴的な前記1または複数の量の値に関連づける前記LUT内の量とを比較することによって推定するための命令と、

(e) EPEに特徴的な前記量に基づいて、前記初期設計レイアウトを修正するための命令と、

を含み、

前記LUTは、前記材料スタック上に重ねられたフォトリソストの較正パターンに対して少なくとも時間tまで前記1セットの処理条件のもとでコンピュータエッチングプロファイルモデル(EPM)を実行することによって構築されたものである、コンピュータシステム。

【請求項27】

請求項26に記載のコンピュータシステムであって、

(a) で受信される前記初期設計レイアウトは、コンピュータ読み取り可能な媒体から読み出され、

前記プロセッサ上で実行される前記メモリ内に格納された前記コンピュータ読み取り可

能な命令は、さらに、

(f) 前記近接効果補正された設計レイアウトをコンピュータ読み取り可能な媒体に書き込むための命令を含む、コンピュータシステム。

【請求項 28】

ルックアップテーブル (LUT) およびコンピュータ読み取り可能な命令を格納した 1 または複数のコンピュータ読み取り可能な媒体であって、前記命令は、

(a) 初期設計レイアウトを受信するための命令と、

(b) 前記初期設計レイアウト内のフィーチャを特定するための命令であって、前記フィーチャのパターンは、前記初期設計レイアウトに対応するフォトリソパターン層が材料スタックに重ねられた時に、1 セットの処理条件下で処理チャンバ内で実行されるプラズマベースのエッチング処理で半導体基板の表面上の前記材料スタックにエッチングされるフィーチャに対応する、命令と、

(c) かかるプラズマベースのエッチング処理中の時間 t における前記フィーチャ内でのフィーチャ内プラズマフラックス (IFPF) に特徴的な 1 または複数の量を推定するための命令と、

(d) 時間 t における前記フィーチャのエッジのエッジ配置誤差 (EPE) に特徴的な量を、(c) で推定された前記 IFPF に特徴的な前記 1 または複数の量と、時間 t における EPE に特徴的な前記量の値を前記 IFPF に特徴的な前記 1 または複数の量の値に関連づける前記 LUT 内の量とを比較することによって推定するための命令と、

(e) EPE に特徴的な前記量に基づいて、前記初期設計レイアウトを修正するための命令と、
を含み、

前記 LUT は、前記材料スタック上に重ねられたフォトリソパターンの較正パターンに対して少なくとも時間 t まで前記 1 セットの処理条件のもとでコンピュータエッチングプロファイルモデル (EPM) を実行することによって構築されたものである、コンピュータ読み取り可能な媒体。

【請求項 29】

半導体基板をエッチングするためのシステムであって、

請求項 26 のコンピュータシステムと、

フォトリソグラフィモジュールであって、

フォトリソ用近接効果補正された設計レイアウトを前記コンピュータシステムから受信し、

前記近接効果補正された設計レイアウトからマスクを形成し、

前記マスクを用いてフォトリソグラフィ動作を実行し、前記近接効果補正済みのフォトリソ設計レイアウトに実質的に従って、フォトリソの層を半導体基板に転写するよう構成された、フォトリソグラフィモジュールと、

前記半導体基板と接触して、前記フォトリソグラフィモジュールによって転写されたフォトリソで覆われていない前記基板の表面の部分をエッチングするプラズマを生成するよう構成されたプラズマエッチャと、

を備える、システム。

【請求項 30】

設計レイアウトのフォトリソを材料スタック上に重ねられた半導体基板上のフィーチャのエッジのエッジ配置誤差 (EPE) に特徴的な量を推定する方法であって、前記フィーチャは、1 セットの処理条件のもとで、対応する実際のまたはシミュレートされた処理チャンバ内で実行される実際のまたはシミュレートされたプラズマベースのエッチング処理でエッチングされ、前記方法は、

(a) 前記エッチング中の時間 t におけるフィーチャ内プラズマフラックス (IFPF) に特徴的な 1 または複数の量を推定する工程と、

(b) 時間 t における EPE に特徴的な前記量を、工程 (a) で推定された前記 IFPF に特徴的な前記 1 または複数の量と、時間 t における EPE の値を前記 IFPF に特徴的

な 1 または複数の量に関連づける L U T 内の量とを比較することによって推定する工程と、
を備え、

前記 L U T は、前記材料スタック上に重ねられたフォトレジストの校正パターンに対して少なくとも時間 t まで前記 1 セットの処理条件のもとでコンピュータエッチングプロファイルモデル (E P M) を実行することによって構築されたものである、方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 2 3

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 1 2 3】

次いで、動作 6 1 0 で選択および初期化されたモデルパラメータは、動作 6 2 0 で、選択されて複数セットの値を与えられた 1 セットの独立入力パラメータについて最適化される。かかる独立入力パラメータは、例えば、反応チャンバ内のプラズマを特徴付けるパラメータ：温度、エッチャントフラックス、プラズマ密度などを含んでよい。独立入力パラメータの値の各組みあわせについて、動作 6 3 0 で、実験エッチング反射スペクトルを測定するために、エッチング実験が実行される。（いくつかの実施形態では、複数回のエッチング実験が、例えば、同じ組みあわせの入力パラメータの値に対して実行され、結果として得られた反射スペクトル測定値が、（おそらく、外れ値、ノイズスペクトルなどを破棄した後に）平均される）。次いで、このセットのベンチマークは、以下のようにモデルを調整および最適化するために用いられる：動作 6 3 5 , 6 3 6 において、E P モデルを実行してエッチングプロファイルを生成した後に、上述のように（例えば、R C W A を用いて）計算エッチングプロファイルをスペクトル反射に変換することによって、1 セットの計算反射スペクトルが生成される（これは、動作 6 3 0 からの測定されたスペクトルに対応し、したがって、入力パラメータの値の各組みあわせに対して生成される）。この時点で、独立入力パラメータに選択された値の各セットから生成され、したがって、比較に適した対応する実験および計算反射スペクトルがある。比較は、動作 6 4 0 でなされ、ここで、実験反射スペクトルと、入力パラメータ値の異なるセット全部に対して計算された反射スペクトルとの間の差を示す（関連する、定量化する、など）誤差メトリックが計算される。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 2 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 1 2 4】

図 6 に関して上述したのと同様に、（誤差メトリックの計算の元となった）このセットの計算エッチングプロファイルは、動作 6 1 0 で指定された以前に選択されたモデルパラメータのセットに対応することに注意されたい。最適化手順の目標は、これらのモデルパラメータのためにより効果的な選択を決定することである。したがって、動作 6 5 0 において、現在指定されているモデルパラメータが、動作 6 4 0 で計算された誤差メトリックを（モデルパラメータの空間の観点で）局所的に最小化するようなものであるか否かが判定され、そうでない場合、動作 6 6 0 で、モデルパラメータのセットの 1 または複数の値が修正された後に、新たな反射スペクトルのセットを生成するために用いられ（図 6 のフローチャートに概略的に示すように動作 6 3 5 , 6 3 6 を反復する）、その後、新たな誤差メトリックが、動作 6 4 0 の反復で計算される。次いで、処理は、再び、この新しい組みあわせのモデルパラメータが、誤差メトリックによって評価されるように入力パラメータのセット全部にわたって局所的な最小値を示すか否かを判定する動作 6 5 0 に再び進む。最小値を示す場合、最適化手順は、図に示すように終了する。そうでない場合、モデル

パラメータは、動作 6 6 0 で再び修正され、サイクルが反復される。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 5 6

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 1 5 6】

処理ガス（例えば、ヘリウム、ネオン、エッチャントなど）が、上側チャンバ内に配置された 1 または複数の主要ガス流入口 1 0 6 0 および / または 1 または複数の側方ガス流入口 1 0 7 0 を通して処理チャンバに流されてよい。同じように、明示されていないが、同様のガス流入口が、図 9 A ~ 図 9 C に示した容量結合プラズマ処理チャンバに処理ガスを供給するために用いられてよい。真空ポンプ（例えば、1 または 2 段の機械的乾式ポンプおよび / またはターボ分子ポンプ）1 0 4 0 が、処理チャンバから処理ガスを引き出すため、および、処理チャンバ 1 0 0 0 内の圧力を維持するために用いられてよい。バルブ制御された導管が、真空ポンプを処理チャンバに流体接続して、真空ポンプによって提供される真空環境の印加を選択的に制御するために用いられてよい。これは、動作プラズマ処理中、スロットルバルブ（図示せず）または振り子バルブ（図示せず）などの閉ループ制御された流量制限装置を用いて行われてよい。同様に、真空ポンプ、および、図 9 A ~ 図 9 C の容量結合プラズマ処理チャンバへのバルブ制御された流体接続が、用いられてもよい。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 1 9 0

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 1 9 0】

図 1 3 C の R O M ルックアップテーブルは、フィーチャ内可視性のためのフィールドも有する。上述のように、可視性は、フィーチャの側壁が方向性イオンフラックスの遮蔽によりプラズマ密度に与えるシャドーイング効果の程度を示す。これは、図 1 7 に示すフィーチャの断面図によって示されている：視線 1 7 1 0 および 1 7 2 0 が、フィーチャ内の空間点 1 7 3 0（エッジの 1 つにおける特定の深さを表す）に収束しており、方向性イオンフラックスへのその点の目に見える暴露の角度限界を表しており；したがって、視線 1 7 1 0 および 1 7 2 0 は、空間点 1 7 3 0 がエッチング中にさらされる方向性イオンフラックスの一部を決定する。より正確には、フィーチャ内の特定の深さでの特定のイオンのイオンフラックスは、対象となるその特定のイオンに関連するイオンエネルギー角度分布関数（I E A D F）で、フィーチャ内のその特定の深さに対応する可視性カーネルの角度積分（例えば、数値的になされる）によって与えられる（特定の深さで、可視性カーネルは、角度依存性を有し、例えば、図 1 7 の視線 1 7 1 0 および 1 7 2 0 を参照）。（I E A D F は、全プラズマモデルに由来する）。したがって、可視性は、イオンフラックス密度に密接に関連するため、上述のように、I F P F の特性であると言える。所与のエッジについて、可視性カーネルは、図 1 3 C に示した R O M ルックアップテーブル内に存在するすべての異なるエッジ深さ（および / またはエッチング時間）に対してテーブル化される平均可視性値を得るために積分されてよい。次いで、積分された可視性（対象となるフィーチャに関連するもの）を単に用いて、R O M 内にインデックス化することができる。別の実施形態では、可視性カーネルおよび I E A D F の積が、図 1 3 C に示した L U T へのインデックスとして後に利用されうる I F P I F を得るために（角度にわたって）積分される。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 2 3 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0234】

別の実施形態

上述の開示されている技術、動作、処理、方法、システム、装置、ツール、薄膜、化学物質、および、組成は、簡潔さおよび理解を促進するために具体的な実施形態の文脈で詳細に記載されているが、当業者にとって、本開示の精神および範囲の中に含まれる上述の実施形態を実施する多くの別の方法があることは明らかである。したがって、本明細書に記載の実施形態は、限定的ではなく、開示された発明の概念を例示するものと見なされるべきであり、最終的には本開示の主題に向けられた任意の請求項の範囲を不当に限定するための容認できない根拠として用いられるべきではない。

本発明は以下の適用例としても実現できる。

[適用例 1]

エッチング動作で用いられるフォトリソスト用の近接効果補正された設計レイアウトを生成する方法であって、

(a) 初期設計レイアウトを受信する工程と、

(b) 前記初期設計レイアウト内のフィーチャを特定する工程であって、前記フィーチャのパターンは、前記設計レイアウトに対応するフォトリソストパターンの層が材料スタックに重ねられた時に、1セットの処理条件下で処理チャンバ内で実行されるプラズマベースのエッチング処理で半導体基板の表面上の前記材料スタックにエッチングされるフィーチャに対応する、工程と、

(c) かかるプラズマベースのエッチング処理中の時間 t における前記フィーチャ内でのフィーチャ内プラズマフラックス (IFPF) に特徴的な 1 または複数の量を推定する工程と、

(d) 時間 t における前記フィーチャのエッジのエッジ配置誤差 (EPE) に特徴的な量を、工程 (c) で推定された前記 IFPF に特徴的な前記 1 または複数の量と、時間 t における EPE に特徴的な前記量の値を前記 IFPF に特徴的な前記 1 または複数の量の値に関連づけるルックアップテーブル (LUT) 内の量とを比較することによって推定する工程と、

(e) EPE に特徴的な前記量に基づいて、前記初期設計レイアウトを修正する工程と、を備え、

前記 LUT は、前記材料スタック上に重ねられたフォトリソストの較正パターンに対して少なくとも時間 t まで前記 1 セットの処理条件のもとでコンピュータエッチングプロファイルモデル (EPM) を実行することによって構築されたものである、方法。

[適用例 2]

適用例 1 に記載の方法であって、さらに、

パターンが前記初期設計レイアウト内にある 1 または複数のさらなるフィーチャについて、工程 (b) ~ (d) を繰り返す工程を備え、

工程 (e) で前記初期設計を修正することは、さらに、前記 1 または複数のさらなるフィーチャの EPE に特徴的な前記推定量に基づく、方法。

[適用例 3]

適用例 1 または 2 に記載の方法であって、工程 (c) において、前記 IFPF に特徴的な前記 1 または複数の量は、

フィーチャ内プラズマイオンフラックス (IFPIF) に特徴的な量と、

フィーチャ内プラズマ中性フラックス (IFPNF) に特徴的な量と、

を含む、方法。

[適用例 4]

適用例 3 に記載の方法であって、IFPNF に特徴的な前記量は、前記処理チャンバ内の前記基板の存在を考慮した前記フィーチャ上方の負荷プラズマフラックスである、方法

[適用例 5]

適用例 4 に記載の方法であって、前記負荷プラズマフラックスは、前記処理チャンバ内のファーフールドの全体のプラズマフラックスに特徴的な 1 または複数の量に基づいて、工程 (c) で推定される、方法。

[適用例 6]

適用例 5 に記載の方法であって、ファーフールドの全体のプラズマフラックスに特徴的な前記 1 または複数の量は、処理チャンバ条件を考慮するが前記処理チャンバ内の前記基板の存在を考慮しないコンピュータプラズマモデルで計算される、方法。

[適用例 7]

適用例 3 に記載の方法であって、前記 I F P I F に特徴的な前記量は、前記フィーチャに対応する可視性カーネル (V C) に基づいて、工程 (c) で推定される、方法。

[適用例 8]

適用例 7 に記載の方法であって、前記 I F P I F に特徴的な前記量は、前記フィーチャ上方の 1 または複数のプラズマイオンフラックス (P I F) に対応するイオンエネルギー角分布関数 (I E A D F) で前記 V C の積分を推定することを含む手順によって計算される、方法。

[適用例 9]

適用例 8 に記載の方法であって、前記 I E A D F は、処理チャンバ条件を考慮したコンピュータプラズマモデルで計算された前記処理チャンバ内のファーフールドの全体のプラズマフラックスに特徴的な 1 または複数の量に基づいて推定される、方法。

[適用例 10]

適用例 9 に記載の方法であって、前記 V C は、前記フィーチャが、フォトレジストの前記初期設計レイアウトに対応する開口部を有し、前記開口部のエッジから下向きに伸びる実質的に垂直な側壁を有することを仮定することによって、工程 (c) で推定される、方法。

[適用例 11]

適用例 10 に記載の方法であって、さらに、
(c ') 工程 (d) で推定された前記 E P E に基づいて、前記フィーチャの前記 V C を再推定する工程と、
(d ') 工程 (c ') で再推定された前記可視性カーネルの値と前記 L U T 内の値とを比較することにより、時間 t における E P E に特徴的な前記量を再推定する工程と、
を備え、

前記初期設計レイアウトは、さらに、工程 (d ') からの時間 t における E P E に特徴的な前記量の前記再推定された値に基づいて、工程 (e) で修正される、方法。

[適用例 12]

適用例 3 に記載の方法であって、前記 L U T は、エントリのリストを含み。前記エントリの少なくとも一部は、I F P I F に特徴的な前記量、I F P N F に特徴的な前記量、および、E P E に特徴的な前記対応する量のためのフィールドを備える、方法。

[適用例 13]

適用例 12 に記載の方法であって、前記 L U T 内の前記エントリの少なくとも一部は、さらに、エッチング時間および / またはフィーチャ深さのための 1 または複数のフィールドを備える、方法。

[適用例 14]

適用例 12 に記載の方法であって、前記 L U T 内の前記エントリの少なくとも一部は、さらに、フィーチャ内不動態化蒸着フラックス (I F P D F) のためのフィールドを備える、方法。

[適用例 15]

適用例 12 に記載の方法であって、前記 L U T 内の前記エントリの少なくとも一部は、さらに、前記較正パターン内に存在するエッジ形状に対応するエッジ形状インジケータのためのフィールドを備える、方法。

[適用例 1 6]

適用例 1 5 に記載の方法であって、さらに、前記フィーチャの形状と前記較正パターン内に存在する前記フィーチャの形状とをパターンマッチングすることにより、エッチングされる前記フィーチャのエッジ形状インジケータを決定する工程と、前記決定されたエッジ形状インジケータを前記 L U T での検索に用いる工程と、を備える、方法。

[適用例 1 7]

適用例 1 6 に記載の方法であって、前記 L U T は、最初に、前記フィーチャの決定されたエッジ形状インジケータに基づいて検索される、方法。

[適用例 1 8]

適用例 1 2 に記載の方法であって、
前記 L U T は、前記エントリの 1 または複数のフィールドに基づいてソートされ、
工程 (d) での比較は、前記 L U T での検索を含み、
工程 (d) での推定は、前記検索後に前記 L U T 内のエントリの間を補間することを含む、方法。

[適用例 1 9]

適用例 1 8 に記載の方法であって、前記補間は、多変量ベースの補間スキームを含む、方法。

[適用例 2 0]

適用例 1 または 2 に記載の方法であって、E P E に特徴的な前記量は、動作中に、I F P F に特徴的な 1 または複数の量を前記 L U T 内の量と比較し、前記 L U T 内の値の間を補間するトレーニングされた機械学習モデル (M L M) を用いて、工程 (d) で推定され、

前記 M L M は、前記コンピュータ E P M を実行することによって生成されたデータセットでトレーニングされたものであり、前記データセットの少なくとも一部は、前記 L U T を構築するために用いられたものである、方法。

[適用例 2 1]

適用例 1 または 2 に記載の方法であって、
工程 (c) および (d) は、時間 t_1 における E P E に特徴的な量を推定するために、 $t = t_1$ に対して実行され、
前記方法は、さらに、時間 t_2 における E P E に特徴的な量を推定するために、 $t = t_2$ ($> t_1$) に対して工程 (c) および (d) を実行する工程を備え、
前記初期設計レイアウトは、時間 t_1 および t_2 における E P E に特徴的な前記量の前記推定された値に基づいて、工程 (e) で修正され、
前記 L U T は、少なくとも時間 t_2 まで前記 E P M を実行することによって構築される、方法。

[適用例 2 2]

マスク設計を生成する方法であって、
適用例 1 または 2 の方法を用いて、フォトリソスト用の近接効果補正された設計レイアウトを生成する工程と、
前記生成された近接効果補正済みのフォトリソスト設計レイアウトに基づいて、マスク設計を生成する工程と、
を備える、方法。

[適用例 2 3]

半導体基板をエッチングする方法であって、
適用例 2 2 の方法を用いて、マスク設計を生成する工程と、
前記マスク設計に基づいて、マスクを形成する工程と、
前記マスクを用いてフォトリソグラフィ動作を実行し、前記近接効果補正済みのフォトリソスト設計レイアウトに実質的に従って、フォトリソストの層を前記基板に転写する工程と、
前記基板をエッチングするプラズマに前記基板を暴露させる工程と、

を備える、方法。

[適用例 2 4]

適用例 1 または 2 に記載の方法であって、工程 (d) で用いられる前記 L U T を構築するためにフォトレジストの前記較正パターン上で実行する前記コンピュータエッチングプロファイルモデル (E P M) は、複数のモデルパラメータを用いて、半導体基板上のフィーチャの前記エッチングプロファイルを 1 セットの独立入力パラメータに関連づけるモデルであり、前記モデルは、

(1) 最適化されるよう選択されたセットの前記モデルパラメータに対する 1 セットの値を特定する工程と、

(2) それらにわたって最適化されるよう選択されたセットの独立入力パラメータに対する複数セットの値を特定する工程と、

(3) 工程 (2) で特定された各値セットについて、工程 (2) で特定された前記値セットを用いて実行された実験エッチング処理の光学測定から生成された実験反射スペクトルを受信する工程と、

(4) 工程 (2) で特定された各値セットについて、工程 (1) および (2) で特定された前記値セットを用いて、前記モデルから計算反射スペクトルを生成する工程と、

(5) 前記選択されたセットのモデルパラメータに対して工程 (1) で特定された 1 または複数の値を修正し、工程 (3) で受信された前記実験反射スペクトルと、工程 (2) で特定された前記選択された独立入力パラメータの 1 または複数セットの値に関して工程 (4) で生成された対応する計算反射スペクトルとの間の差を示すメトリックを小さくするために、前記修正された値セットで工程 (4) を繰り返す工程であって、

工程 (5) で前記メトリックを計算することは、

前記計算反射スペクトルと、対応する実験反射スペクトルとの間の差を計算して、前記差を縮小次元部分空間に射影する工程、および / または、

前記計算反射スペクトルおよび対応する実験反射スペクトルを縮小次元部分空間に射影して、前記部分空間に射影された前記反射スペクトル間の差を計算する工程を含む、工程と、

を備える方法によって最適化されたものである、方法。

[適用例 2 5]

適用例 1 または 2 に記載の方法であって、工程 (d) で用いられる前記 L U T を構築するためにフォトレジストの前記較正パターン上で実行する前記コンピュータエッチングプロファイルモデル (E P M) は、複数のモデルパラメータを用いて、半導体基板上のフィーチャの前記エッチングプロファイルを 1 セットの独立入力パラメータに関連づけるモデルであり、前記モデルは、

(1) 最適化されるよう選択されたセットの前記モデルパラメータに対する 1 セットの値を特定する工程と、

(2) それらにわたって最適化されるよう選択されたセットの独立入力パラメータに対する複数セットの値を特定する工程と、

(3) 工程 (2) で特定された各値セットについて、工程 (2) で特定された前記値セットを用いて実行された実験エッチング処理に起因する実験エッチングプロファイルを受信する工程と、

(4) 工程 (2) で特定された各値セットについて、工程 (1) および (2) で特定された前記値セットを用いて、前記モデルから計算エッチングプロファイルを生成する工程と、

(5) 前記選択されたセットのモデルパラメータに対して工程 (1) で特定された 1 または複数の値を修正し、工程 (3) で受信された前記実験エッチングプロファイルと、工程 (2) で特定された前記選択された独立入力パラメータの全セットの値について工程 (4) で生成された対応する計算エッチングプロファイルとの間の合計差を示すメトリックを小さくするために、前記修正された値セットで工程 (4) を繰り返す工程であって、

工程 (5) で前記メトリックを計算することは、

前記計算エッチングプロファイルと、対応する実験エッチングプロファイルとの間の差を計算して、前記差を縮小次元部分空間に射影する工程、および／または、

前記計算エッチングプロファイルおよび対応する実験エッチングプロファイルを縮小次元部分空間に射影して、前記部分空間に射影された前記エッチングプロファイル間の差を計算する工程を含む、工程と、
を備える方法によって最適化されたものである、方法。

[適用例 2 6]

エッチング動作で用いられるフォトリソスト用の近接効果補正された設計レイアウトを生成するためのコンピュータシステムであって、

プロセッサと、

ルックアップテーブル (L U T)、および、前記プロセッサ上で実行されるコンピュータ読み取り可能な命令を格納するメモリと、
を備え、

前記命令は、

(a) 初期設計レイアウトを受信するための命令と、

(b) 前記初期設計レイアウト内のフィーチャを特定するための命令であって、前記フィーチャのパターンは、前記設計レイアウトに対応するフォトリソストパターンの層が材料スタックに重ねられた時に、1セットの処理条件下で処理チャンバ内で実行されるプラズマベースのエッチング処理で半導体基板の表面上の前記材料スタックにエッチングされるフィーチャに対応する、命令と、

(c) かかるプラズマベースのエッチング処理中の時間 t における前記フィーチャ内でのフィーチャ内プラズマフラックス (I F P F) に特徴的な1または複数の量を推定するための命令と、

(d) 時間 t における前記フィーチャのエッジのエッジ配置誤差 (E P E) に特徴的な量を、(c) で推定された前記 I F P F に特徴的な前記1または複数の量と、時間 t における E P E に特徴的な前記量の値を前記 I F P F に特徴的な前記1または複数の量の値に関連づける前記 L U T 内の量とを比較することによって推定するための命令と、

(e) E P E に特徴的な前記量に基づいて、前記初期設計レイアウトを修正するための命令と、
を含み、

前記 L U T は、前記材料スタック上に重ねられたフォトリソストの較正パターンに対して少なくとも時間 t まで前記1セットの処理条件のもとでコンピュータエッチングプロファイルモデル (E P M) を実行することによって構築されたものである、コンピュータシステム。

[適用例 2 7]

適用例 2 6 に記載のコンピュータシステムであって、

(a) で受信される前記初期設計レイアウトは、コンピュータ読み取り可能な媒体から読み出され、

前記プロセッサ上で実行される前記メモリ内に格納された前記コンピュータ読み取り可能な命令は、さらに、

(f) 前記近接効果補正された設計レイアウトをコンピュータ読み取り可能な媒体に書き込むための命令を含む、コンピュータシステム。

[適用例 2 8]

ルックアップテーブル (L U T) およびコンピュータ読み取り可能な命令を格納した1または複数のコンピュータ読み取り可能な媒体であって、前記命令は、

(a) 初期設計レイアウトを受信するための命令と、

(b) 前記初期設計レイアウト内のフィーチャを特定するための命令であって、前記フィーチャのパターンは、前記設計レイアウトに対応するフォトリソストパターンの層が材料スタックに重ねられた時に、1セットの処理条件下で処理チャンバ内で実行されるプラズマベースのエッチング処理で半導体基板の表面上の前記材料スタックにエッチングされる

フィーチャに対応する、命令と、

(c) かかるプラズマベースのエッチング処理中の時間 t における前記フィーチャ内でのフィーチャ内プラズマフラックス (I F P F) に特徴的な 1 または複数の量を推定するための命令と、

(d) 時間 t における前記フィーチャのエッジのエッジ配置誤差 (E P E) に特徴的な量を、(c) で推定された前記 I F P F に特徴的な前記 1 または複数の量と、時間 t における E P E に特徴的な前記量の値を前記 I F P F に特徴的な前記 1 または複数の量の値に関連づける前記 L U T 内の量とを比較することによって推定するための命令と、

(e) E P E に特徴的な前記量に基づいて、前記初期設計レイアウトを修正するための命令と、

を含み、

前記 L U T は、前記材料スタック上に重ねられたフォトレジストの較正パターンに対して少なくとも時間 t まで前記 1 セットの処理条件のもとでコンピュータエッチングプロファイルモデル (E P M) を実行することによって構築されたものである、コンピュータ読み取り可能な媒体。

[適用例 2 9]

半導体基板をエッチングするためのシステムであって、

適用例 2 6 のコンピュータシステムと、

フォトリソグラフィモジュールであって、

フォトレジスト用の近接効果補正された設計レイアウトを前記コンピュータシステムから受信し、

前記近接効果補正された設計レイアウトからマスクを形成し、

前記マスクを用いてフォトリソグラフィ動作を実行し、前記近接効果補正済みのフォトレジスト設計レイアウトに実質的に従って、フォトレジストの層を半導体基板に転写するように構成された、フォトリソグラフィモジュールと、

前記半導体基板と接触して、前記フォトリソグラフィモジュールによって転写されたフォトレジストで覆われていない前記基板の表面の部分をエッチングするプラズマを生成するように構成されたプラズマエッチャと、

を備える、システム。

[適用例 3 0]

設計レイアウトのフォトレジストを材料スタック上に重ねられた半導体基板上のフィーチャのエッジのエッジ配置誤差 (E P E) に特徴的な量を推定する方法であって、前記フィーチャは、1 セットの処理条件のもとで、対応する実際のまたはシミュレートされた処理チャンパ内で実行される実際のまたはシミュレートされたプラズマベースのエッチング処理でエッチングされ、前記方法は、

(a) 前記エッチング中の時間 t におけるフィーチャ内プラズマフラックス (I F P F) に特徴的な 1 または複数の量を推定する工程と、

(b) 時間 t における E P E に特徴的な前記量を、工程 (a) で推定された前記 I F P F に特徴的な前記 1 または複数の量と、時間 t における E P E の値を前記 I F P F に特徴的な 1 または複数の量に関連づける L U T 内の量とを比較することによって推定する工程と

を備え、

前記 L U T は、前記材料スタック上に重ねられたフォトレジストの較正パターンに対して少なくとも時間 t まで前記 1 セットの処理条件のもとでコンピュータエッチングプロファイルモデル (E P M) を実行することによって構築されたものである、方法。