

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6336982号
(P6336982)

(45) 発行日 平成30年6月6日 (2018.6.6)

(24) 登録日 平成30年5月11日 (2018.5.11)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 B 11/06 (2006.01)

GO 1 B 11/06 Z

HO 1 L 21/66 (2006.01)

HO 1 L 21/66 P

HO 1 L 21/3065 (2006.01)

HO 1 L 21/302 1 O 3

請求項の数 20 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2015-527065 (P2015-527065)	(73) 特許権者	515037896
(86) (22) 出願日	平成25年8月15日 (2013.8.15)		ノヴァ メジャリング インストルメンツ
(65) 公表番号	特表2015-528569 (P2015-528569A)		リミテッド
(43) 公表日	平成27年9月28日 (2015.9.28)		NOVA MEASURING INST
(86) 国際出願番号	PCT/IL2013/050697		RUMENTS LTD.
(87) 国際公開番号	W02014/027354		イスラエル国 レホヴォト 761020
(87) 国際公開日	平成26年2月20日 (2014.2.20)		1, ワイズマンサイエンティフィックパー
審査請求日	平成28年8月15日 (2016.8.15)		ク, ピー. オー. ピー. 266
(31) 優先権主張番号	61/683, 215	(74) 代理人	110001302
(32) 優先日	平成24年8月15日 (2012.8.15)		特許業務法人北青山インターナショナル
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	タロヴェッツ, イゴル
			イスラエル国 モシャヴギヴァットヤリム
			9097000, 244

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 その場測定のための光計測

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

様々な多層スタックの領域に様々なパターンを有するパターン構造物に適用される処理のその場 (in-situ) 制御で用いる方法であって、

(a) 所定の処理時間前記処理によって処理される前記構造物の前記様々な多層スタックからの複数の信号によって形成される前記構造物の測定点の光応答を示す測定データを連続的に受け取り、経時的に測定されたデータ片の対応するシーケンスを生成するステップであって、それぞれの前記データ片が、様々な多層スタックを含む前記測定点内の前記構造物の領域における様々なパターンからの複数の信号を含む前記測定点からの前記光応答によって形成される共通する符号に対応する、ステップと、

(b) 前記データ片の前記シーケンスを分析且つ処理し、前記構造物の少なくとも1のメインパラメータであって、前記構造物に適用される1又はそれ以上の前記処理のパラメータの変動とともに比較的強く且つ迅速に変動するメインパラメータを判定するステップと、

を具備しており、前記データ片のシーケンスを前記分析且つ処理するステップが、

i) 前記データ片のシーケンスの一部を処理し、前記構造物の1又はそれ以上のパラメータを示すデータを取得するステップであって、前記構造物の1又はそれ以上のパラメータを示すデータが、前記構造物に適用される1又はそれ以上の前記処理のパラメータの変動とともに比較的弱く且つゆっくりと変動する前記構造物の少なくとも1のパラメータ、及び、前記構造物に適用される1又はそれ以上の処理のパラメータの変動に実質的に影

響を受けない前記構造物の少なくとも1のパラメータ、のうちの少なくとも一方を含む前記構造物の1又はそれ以上の第2のパラメータについての情報を有するステップと、

i i) 前記構造物の1又はそれ以上のパラメータを示す前記データを利用し、測定下の構造物と同様な構造物の様々な多層スタックからの様々なパターンの光応答と前記構造物の1又はそれ以上のパラメータとの間の関係を記述するモデルデータを最適化するステップと、

i i i) 前記測定されたデータ片の前記シーケンスの少なくとも一部を処理するために前記最適化されたモデルデータを利用し、前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の少なくとも1のメインパラメータを判定し、それを示すデータを生成するステップと、

を具えることを特徴とする方法。

【請求項2】

前記データ片のシーケンスの一部を処理するステップが、前記共通する符号の前記様々な多層スタックからの信号の相対的重量を判定することを含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記データ片のシーケンスの一部を処理するステップが、前記共通する符号から前記様々な多層スタックをカバーする測定スポットの所定の部分の光応答に対応する信号を除去することを含むことを特徴とする請求項1又は2に記載の方法。

【請求項4】

前記所定の部分が、非周期的パターンを有する前記多層スタックに関連することを特徴とする請求項3に記載の方法。

【請求項5】

少なくとも1の第2のパラメータを含む前記1又はそれ以上のパラメータを示すデータが取得される前記データ片のシーケンスの前記一部が、前記処理時間の初期の時間間隔に対応する先行データ片を具えており、

前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の前記少なくとも1のメインパラメータの判定のために処理される前記シーケンスの前記少なくとも一部が、前記処理時間の一連の時間間隔に対応する前記データ片を具えることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の方法。

【請求項6】

前記先行データ片の前記処理が、

前記処理の適用の際に前記構造物の1又はそれ以上のパラメータの挙動についてのデータを利用し、1又はそれ以上の前記先行データ片に対応する前記初期の時間間隔内における1又はそれ以上の時点でそれぞれの前記1又はそれ以上のパラメータについての前記データを取得するステップと、

モデル最適化データを生成するステップと、
を具えることを特徴とする請求項5に記載の方法。

【請求項7】

前記モデル最適化データが、それぞれの前記1又はそれ以上のパラメータに関する固定値、経時的にそれぞれの前記1又はそれ以上のパラメータの値の変動範囲、のうちの少なくとも1を具えることを特徴とする請求項6に記載の方法。

【請求項8】

前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の少なくとも1の判定されたメインパラメータが、少なくとも1の前記構造物の1又はそれ以上のパラメータを有しており、当該パラメータについて前記データが前記データ片の前記シーケンスの一部の前記処理から取得されることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の方法。

【請求項9】

前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の前記少なくとも1のメインパラメータが、エッチング深さ、蒸着される材料の厚さ、及び材料除去処理の際の残りの

10

20

30

40

50

材料の厚さのうちの少なくとも 1 を具えることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 1 0】

前記データが前記データ片の前記シーケンスの一部の前記処理から取得される前記 1 又はそれ以上の第 2 のパラメータが、前記スタックの少なくとも 1 の層の、側壁の角度、丸み、厚さのうちの 1 又はそれ以上を具えることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 1 1】

前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の前記少なくとも 1 のメインパラメータの前記判定が、前記光応答の時間変化の推定される線形性にしたがって、前記測定されたデータ片のシーケンスの前記少なくとも一部をグループに分割するステップを具えることを特徴とする請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 1 2】

様々な多層スタックの領域を有するパターン構造物に適用される処理のその場 (in-situ) 制御で用いる制御システムであって、当該システムがコンピュータシステムであり、

(a) 所定の処理時間に間に前記処理によって処理される構造物の光応答を示す測定データを受け取り、経時的に測定されたデータ片の対応するシーケンスを生成するためのデータ入力ユーティリティであって、それぞれの前記データ片が、前記様々な多層スタックを含む前記測定点内の前記構造物の領域における様々なパターンからの複数の信号によって形成される共通する符号を含む前記構造物の測定点からの前記光応答に対応するデータ入力ユーティリティと、

(b) 前記データ片の前記シーケンスを分析及び処理し、且つ前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の少なくとも 1 のメインパラメータを判定するよう構成され且つ動作可能な処理ユーティリティであって、前記構造物のメインパラメータが、前記構造物に適用される 1 又はそれ以上の前記処理のパラメータの変動とともに比較的強く且つ迅速に変動するパラメータである処理ユーティリティとを具えており、前記処理ユーティリティが、

i) 前記データ片の前記シーケンスの一部を処理し、且つ前記構造物の 1 又はそれ以上のパラメータを示すデータを取得するよう構成され且つ動作可能な構造分析器であって、前記構造物の 1 又はそれ以上のパラメータを示すデータが、前記構造物に適用される 1 又はそれ以上の前記処理のパラメータの変動とともに比較的弱く且つゆっくりと変動する前記構造物の少なくとも 1 のパラメータ、及び、前記構造物に適用される 1 又はそれ以上の処理のパラメータの変動に実質的に影響を受けない前記構造物の少なくとも 1 のパラメータ、のうちの少なくとも一方を含む前記構造物の 1 又はそれ以上の第 2 のパラメータについての情報を有する構造分析器と、

i i) 前記構造物の 1 又はそれ以上のパラメータを示す前記データを利用し、且つ測定下の構造物と同様な構造物の様々な多層スタックの光応答と前記構造物のパラメータとの間の関係を記述するモデルを最適化するためのモデル最適化データを生成するよう構成され且つ動作可能なモデル最適化モジュールと、

i i i) 前記測定されたデータ片のシーケンスの少なくとも一部を処理するために最適化されたモデルデータを利用し、前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の少なくとも 1 のメインパラメータを判定し、それを示すデータを生成するよう構成され且つ動作可能なモデルベースのパラメータ計算器と、
を具えることを特徴とする制御システム。

【請求項 1 3】

前記構造分析器が、前記データ片のシーケンスの一部を処理し、前記共通する符号の前記様々な多層スタックからの信号の相対的重量を判定するよう構成されていることを特徴とする請求項 1 2 に記載のシステム。

【請求項 1 4】

前記構造分析器が、前記共通する符号の前記様々な多層スタックからの前記信号の相対

10

20

30

40

50

的重量を示すデータを利用し、前記共通する符号から前記様々な多層スタックをカバーする測定スポットの所定の部分の光応答に対応する信号を除去するよう構成されていることを特徴とする請求項 1 2 又は 1 3 に記載のシステム。

【請求項 1 5】

前記所定の部分が、非周期的パターンを有する前記多層スタックに関連することを特徴とする請求項 1 4 に記載のシステム。

【請求項 1 6】

前記 1 又はそれ以上のパラメータを示すデータが取得される前記データ片のシーケンスの前記一部が、前記処理時間の初期の時間間隔に対応する先行データ片を具えており、

前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の前記少なくとも 1 のメインパラメータの判定のために処理される前記シーケンスの前記少なくとも一部が、前記処理時間の一連の時間間隔に対応する前記データ片を具えることを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の制御システム。

【請求項 1 7】

前記構造分析器が、前記処理の適用の間に前記構造物の前記 1 又はそれ以上のパラメータの挙動についてのデータを利用し、1 又はそれ以上の前記先行データ片に対応する前記初期の時間間隔内における 1 又はそれ以上の時点でそれぞれの前記 1 又はそれ以上のパラメータについての前記データを取得し、モデル最適化データを生成するよう構成され且つ動作可能であることを特徴とする請求項 1 6 に記載の制御システム。

【請求項 1 8】

前記モデル最適化モジュールが、それぞれの前記 1 又はそれ以上のパラメータに関する固定値、経時的にそれぞれの前記 1 又はそれ以上のパラメータの値の変動範囲、のうちの少なくとも 1 を具える前記モデル最適化データを生成することを特徴とする請求項 1 7 に記載の制御システム。

【請求項 1 9】

前記モデルベースのパラメータ計算器が、前記光応答の時間変化の推定される線形性にしたがって、前記測定されたデータ片のシーケンスの前記少なくとも一部をグループに分割し、前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の前記少なくとも 1 のパラメータを判定すること、前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の前記少なくとも 1 のパラメータを分析するための処理分析器モジュールであって、修正される前記処理の対応する 1 又はそれ以上のパラメータを識別するための処理分析器モジュールとのデータ通信を実施すること、のうちの少なくとも 1 を実行するよう構成され且つ動作可能であることを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 8 のいずれか 1 項に記載の制御システム。

【請求項 2 0】

様々な多層スタックの領域を有するパターン構造物に適用される処理のその場 (in-situ) モニタリングのための測定システムであって、当該測定システムが、

特定の処理時間 t の間に処理される構造物の光計測を実行するよう構成され且つ動作可能な光計測ユニットであって、処理される前記構造物の測定点に照射することで前記構造物の光応答を引き起こすための照射アッセンブリと、前記処理時間 t にわたって前記光応答を検出し且つ経時的に検出された光応答に対応する測定データを生成するための検出アッセンブリとを具える光計測ユニットと、

前記測定データを受け取り、経時的に測定されたデータ片の対応するシーケンスを生成し、前記シーケンスを処理し、前記構造物に適用される前記処理を特徴付ける前記構造物の前記少なくとも 1 のメインパラメータを判定するための請求項 1 2 乃至 1 9 のいずれか 1 項に記載の制御システムと、

を具えることを特徴とする測定システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、概して光計測技術の分野であり、処理／製造される構造物のパラメータのその場（in-situ）測定で使用する光学的方法及びシステムに関する。本発明はパターン構造物（半導体ウェハ）の製造で様々な処理を制御するための半導体産業で特に有用である。

【背景技術】

【0002】

一般に、パターン構造物の製造分野では、1又はそれ以上の統合された、その場の（in-situ）独立型の光計測技術によるパターン形成の処理を制御することが知られている。

【0003】

例えば、本出願の譲受人に帰属する米国特許第6,764,379号は、生産ライン上を進む実質的に同じ品物の流れの処理をモニタリングするための、統合技術の使用や統合とその場測定とを組み合わせた技術を記載している。まず、その場技術は、終点信号を検出すると処理を特定且つ終了するよう適用され、その終了は、処理される品物の特定のパラメータが所定値になることに対応する。品物の処理の間に連続的に動作する終点検出器によって生成される終点信号に応じて処理を完了すると、統合モニタリングが処理される品物に適用され、前記パラメータの値を測定する。所望のパラメータの測定値は、流れの次の品物の処理を適切に終了させるよう使用される終点信号を調整するために使用される正しい値を判定するよう分析される。

【0004】

構造物の中に様々な多層スタックを有するタイプのパターン構造物の製造処理をその場でモニタリングするための新たなアプローチの必要性が当技術分野である。

【0005】

一般に、統合型及び独立型技術に対するその場測定の有利な点は、処理が進行しつつその同じ構造物を測定し得ることにある。これにより、特に処理を妨げずにリアルタイムで生産及び処理パラメータの制御を可能にし、処理の終点検出及び処理パラメータの制御をリアルタイムで可能にする。主として、その場測定は、不規則な環境特性、処理／測定時の構造物の機械的な移動等によって影響を受けるという理由から、その場測定による測定データの解釈は複雑な作業であり、そのような従来技術は十分に正確ではない。また、その場光計測は、比較的大きなサイズの測定点を要するため、不可避免的に低い空間分解能を有する。様々な多層スタックを有するパターン構造物のケースでは、このような大きな点の使用により、測定点が、例えば異なるパターンといった異なるスタックの部分を含むことになる。特に、例えばスペクトルといったその場測定による光計測は、測定は特別にデザインされたけがき線を有する試験用構造物（50ミクロン×50ミクロン）よりもかなり大きな点で通常なされる。ウェハ表面の点のサイズは、直径がおよそ数ミリメートルよりも大きく、ダイのサイズと同程度／それよりも大きい。このような「大きな」点のケースでの測定信号は、測定点の全ての形体から反射される信号の組み合わせである。換言すれば、その場測定による光計測は、ウェハのパターンに対する強い信号依存性を有する。

【発明の概要】

【0006】

本発明は、その場光計測で使用するための新規な技術を提供する。このような新規な技術は、その場光計測が、構造物に適用される処理が進行する際に経時的に測定されたデータ片のシーケンスの形式で測定データを提供するという発明者の理解に基づく。このようなデータ片のシーケンスは、構造物の外形の時間変化のマップを提供する。これにより、構造物の外形のリアルタイムでのモデル化、すなわち、構造物の外形と構造物の光応答との間の関係を記載するモデルの最適化が可能となる。したがって、構造物の外形パラメータを、例えば、スペクトル、角度分解、偏光パラメータ、分光エリブソメータ（SE）パラメータ等といった、その場光信号（符号）に基づいて、動的に最適化されたモデルから抽出することができる。

【0007】

本発明によるリアルタイムの外形モデル化方法は、外形の判定及びデータ解釈のアルゴ

10

20

30

40

50

リズムのいずれにおいても、通常の光波散乱計測（光学臨界寸法、OCD）によるモデル化とは異なることが理解できよう。本発明のリアルタイムの外形モデル化技術は、標準的なOCD及び／又は同じようにパターン化された構造物（ウェハ）の任意の関連する形体又は形体の他の測定結果を利用することができ、（予測定を用いるか又は異なるアルゴリズムで分析可能なサブシリーズにリアルタイムのデータセット列を分割する）現在の実行及び（処理後の測定を用いる）次の実行の双方で、リアルタイムによる外形予測の精度及びタイミングを微調整する。また、（同一又は異なるタイプの）多重光検出器を、構造物の同じスポット及び／又は構造物の異なる複数のスポットのその場測定のために使用することに留意されたい。

【0008】

10

本発明は、本発明によるリアルタイムの外形モデル化を利用する測定の安定性及びロバスト性を強化するための専用技術を提供する。本発明によれば、いくつかの測定の時間シーケンスを異なる方法で使用して、処理の追跡を可能にし、処理及びモデル化と一致する方法でシーケンスを結合する制約を使用する。

【0009】

いくつかの実施例では、本発明は、測定の複合時間シーケンスを利用する。光波散乱計測で従来から行われるように、特定の構造物を示す各符号（例えば、スペクトル）を見ることを用いる代わりに、本発明のリアルタイムの外形モデル化方法は、いずれの時点でも（処理の間のリアルタイムで）処理の開始から現時点まで経時的に測定されるデータ片のシーケンスである、一連の測定全体の分析に基づいている。換言すれば、本発明の技術は処理の履歴を使用するものであり、（測定データ片に先行する）既に測定されたフレーム／信号の全てが、分析のために利用可能であり、常に、前に測定されたスペクトル解釈の結果のシーケンス全体が、傾向の分析及び予測のために使用される。予測モデルは、利用可能な前の解釈結果のシーケンス全体に基づいて、それぞれの時点で構築され、次の解釈の開始点の自動推定のために、及び解釈範囲の自動推定のために使用される。さらに、予測モデルは、時間フレームのシーケンスの異なる検索アルゴリズム間の切り替えを始動させることができ、安定した解法に達した場合により迅速な収束を可能にし、又は予測に基づいてパラメータを開閉することによって、浮動パラメータの数を減らすことができる。

20

【0010】

いくつかの他の実施例では、本発明が、複数の生データ信号を利用する測定データ処理技術を提供する。この技術は、処理（例えば、エッチング）に関連するパラメータの時間微分の直接的適合を可能にする。ソフトウェア製品又はユーザは、この目的のために使用され得る、例えば様々な材料でのエッチング速さといったメインのエッチングパラメータのような変数パラメータを定義できる。これらのパラメータについては、以前の情報もまた、開始点又は予測（例えば、平均的な、既知の又は予想されるエッチング速さ）として使用される。データ分析技術は、まず、前に適合した結果が、十分に明確な予測傾向を定義しているか及び／又は予想される傾向に合致しているかどうかを試験する。この場合には、一連の測定スペクトルがグループにまとまって適合され、適合パラメータの時間に関する微分を適合パラメータそのものとして追加する。実際の計算は、そのグループ中のスペクトルの一部のみについて行われ、そのスペクトルの残りについての結果が時間軸に沿って補間される。測定下での構造物の光応答（例えば、スペクトル）を示す測定データ片の時間シーケンスが、光応答の変化（スペクトル変化）の線形予測にしたがって、自動的にグループに分割される。

30

40

【0011】

いくつかの実施例では、本発明が、信頼因子の計算を利用する。このような態様の目的は、測定時間シーケンスにおけるいくつかの測定データ（スペクトル）についての解釈結果の信頼性が何であるかのいくつかの定量的測定を与えるためである。適合結果の低い信頼性が、適合されたパラメータの値の時間変化についての結果と傾向との間の差異に基づいて明確にされる。例えば、前の時点について予想される傾向からの現時点の偏差間の比を計算するといった、非常に基本的な方法で、特に予想される傾向／処理速さが既知であ

50

る処理の副工程について、このような態様を実行することが可能である。予測される傾向の標準偏差と比較して偏差が大きくなるにつれて、現時点の信頼限界が低くなる。この情報は、傾向予測と統合され、傾向予測が不明確なケースでこの情報をより強固にし得る。これは、特に、全ての信号が時間内に解釈されるとは限らないオンライン動作の場合に、関係がある。信頼因子を使用して、傾向予測又は予想モデルから特定のポイントをフィルタリングして、それらをより強固にできる。

【 0 0 1 2 】

したがって、本発明の 1 つの広い態様によれば、様々な多層スタックの領域を有するパターン構造物に適用される処理の制御で用いる方法が提供される。この方法は、

(a) 所定の処理時間で処理される構造物の光応答を示す測定データを連続的に受け取り、経時的に測定されたデータ片の対応するシーケンスを生成するステップと、

(b) データ片のシーケンスを分析且つ処理し、構造物の少なくとも 1 のメインパラメータを判定するステップと、を具えており、前記分析且つ処理するステップが、

i) データ片の前記シーケンスの一部を処理し、構造物の 1 又はそれ以上のパラメータを示すデータを取得するステップと、

i i) 構造物の 1 又はそれ以上のパラメータを示す前記データを利用し、構造物の光応答と構造物の前記 1 又はそれ以上のパラメータとの間の関係を記述するモデルデータを最適化するステップと、

i i i) 測定されたデータ片のシーケンスの少なくとも一部を処理するために最適化されたモデルデータを利用し、構造物に適用される前記処理を特徴付ける構造物の少なくとも 1 のパラメータを判定し、それを示すデータを生成するステップと、を具える。

【 0 0 1 3 】

いくつかの実施例では、1 又はそれ以上のパラメータを示す取得されたデータが、構造物の 1 又はそれ以上の第 2 のパラメータであって、比較的弱く且つ構造物に適用される処理によってゆっくりと変動する第 2 のパラメータについての情報を有する；及び / 又は、構造物の 1 又はそれ以上の第 2 のパラメータであって、構造物に適用される処理によって実質的に影響を受けない第 2 のパラメータについての情報を有する。構造物に適用される前記処理を特徴付ける構造物の少なくとも 1 の判定されたパラメータが、一般に、比較的強く且つ構造物に適用される処理によって迅速に変動する少なくとも 1 の構造パラメータを有する。

【 0 0 1 4 】

第 2 のパラメータは、構造物に適用される処理によって実質的に影響を受けないか、又は、比較的弱く且つ処理によってゆっくりと変動するパラメータである一方、メインパラメータは、比較的強く且つ処理によって迅速に変動する。

【 0 0 1 5 】

前記 1 又はそれ以上のパラメータが取得されるデータ片のシーケンスの一部は、処理時間の初期の時間間隔に対応する先行データ片を具える。構造物に適用される処理を特徴付ける構造物の少なくとも 1 のパラメータの判定のために処理されるシーケンスの少なくとも一部が、処理時間の一連の時間間隔に対応するデータ片を具える。

【 0 0 1 6 】

いくつかの実施例では、先行データ片の処理が、前記処理の適用の際に構造物の前記 1 又はそれ以上のパラメータの挙動についてのデータを利用し、1 又はそれ以上の先行データ片に対応する初期の時間間隔内における 1 又はそれ以上の時点で前記それぞれの 1 又はそれ以上のパラメータについてのデータを取得するステップと、モデル最適化データを生成するステップと、を具える。モデル最適化データが、それぞれの 1 又はそれ以上のパラメータに関する固定値、又は経時的にそれぞれの 1 又はそれ以上の第 2 のパラメータについての値の一定の変動範囲を具え得る。

【 0 0 1 7 】

構造物に適用される処理を特徴付ける少なくとも 1 のパラメータが、エッチング深さ、蒸着される材料の厚さ、及び材料除去処理の際の残りの材料の厚さのうちの少なくとも 1

10

20

30

40

50

を具え得る。データが初期のデータ片を処理する間に取得される 1 又はそれ以上のパラメータが、スタックの少なくとも 1 の層（例えば、下層）の、側壁の角度、丸み、厚さのうちの少なくとも 1 を具える。

【0018】

いくつかの実施例では、構造物に適用される処理を特徴付ける構造物の少なくとも 1 のパラメータの判定が、光応答の時間変化の推定される線形性にしたがって、測定されたデータ片のシーケンスの少なくとも一部をグループに分割するステップを具える。

【0019】

本発明の別の広い態様によれば、パターン構造物に適用される処理の制御で用いる制御システムが提供される。制御システムは、コンピュータシステムであり、このコンピュータシステムが、

10

所定の処理時間に間に前記処理によって処理される構造物の光応答を示す測定データを受け取り、経時的に測定されたデータ片の対応するシーケンスを生成するためのデータ入力ユーティリティと、

データ片のシーケンスを分析及び処理し、且つ構造物に適用される処理を特徴付ける構造物の少なくとも 1 のパラメータを判定するよう構成され且つ動作可能な処理ユーティリティと、

を具えており、前記処理ユーティリティが、

データ片の前記シーケンスの一部を処理し、且つ構造物の 1 又はそれ以上のパラメータを示すデータを取得するよう構成され且つ動作可能な構造分析器と、

20

構造物の 1 又はそれ以上のパラメータを示す前記データを利用し、且つ構造物の光応答と構造物のパラメータとの間の関係を記述するモデルを最適化するためのモデル最適化データを生成するよう構成され且つ動作可能なモデル最適化モジュールと、

測定されたデータ片のシーケンスの少なくとも一部を処理するために最適化されたモデルデータを利用し、構造物に適用される前記処理を特徴付ける構造物の少なくとも 1 のパラメータを判定し、それを示すデータを生成するよう構成され且つ動作可能なモデルベースのパラメータ計算器と、

を具える。

【0020】

本発明のさらに別の態様では、様々な多層スタックの領域を有するパターン構造物に適用される処理のその場モニタリングのための測定システムが提供され、この測定システムが、特定の処理時間 t の間に処理される構造物の光計測を実行するよう構成され且つ動作可能な光計測ユニットと、測定データを受け取り、経時的に測定されたデータ片の対応するシーケンスを生成し、当該シーケンスを処理し、構造物に適用される処理を特徴付ける構造物の少なくとも 1 のパラメータを判定するための上述の制御システムと、を具える。光計測ユニットは、処理される構造物の測定点に照射することで構造物の光応答を引き起こすための照射アセンブリと、前記処理時間 t にわたって光応答を検出し且つ経時的に検出された光応答に対応する測定データを生成するための検出アセンブリとを具える。

30

【図面の簡単な説明】

【0021】

40

ここで開示された発明をさらに理解し、実際に如何にして実行するのかを例示するため、単に非限定的な例として、添付図面を参照して、ここで実施例を説明することとする。

【図 1】図 1 は、パターン構造物の製造処理の制御で使用する本発明に係るシステムのメインの機能要素のブロック図を示す。

【図 2】図 2 は、パターン構造物に適用される処理の間に測定データをその場で処理するための本発明に係る方法の一例のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本発明は、半導体ウェハといった様々な多層スタックの領域を有するあるタイプのパターン構造物の製造における処理の制御で用いる新規な方法及びシステムを提供する。

50

【 0 0 2 3 】

図 1 を参照すると、ブロック図の形式で、エッチング及び研磨といった処理の下でパターン構造物から取得される光計測データを処理するための、本発明にしたがって構成され且つ動作可能な概して符号 1 0 で示す制御システムが図示されている。制御システム 1 0 は、概して、特にデータ入力ユーティリティ 1 2、メモリユーティリティ 1 4、及びデータ処理及び分析ユーティリティ 1 6 といったモジュール/ユーティリティ（ソフトウェア及び/又はハードウェア）を有するコンピュータシステムである。

【 0 0 2 4 】

図示するように、制御システム 1 0 は、測定システム 1 0 0 の一部であり、光計測ユニット 1 8 及び場合により処理システム 2 0 に付随する（ワイヤ又はワイヤレス信号送信で接続される）。このような測定ユニット及び処理システムの構成及び動作はそれ自体知られており、本発明の部分を形成せず、このため、構造物 W が処理ツール 2 2 によりエッチングといった特定の処理を受け、その処理が処理コントローラ 2 4 によって制御される点を除いて、特に説明することを必要としない。測定ユニット 1 8 は、製造ライン上を進む半導体ウェハ W といったパターン構造物に対してその場で光計測を実行するよう構成され且つ動作可能である。この目的のために、測定ユニット 1 8 は、適切な照射及び検出アッセンブリ 2 6、2 8 を有する。これらのアッセンブリは、暗視野及び/又は明視野検出モードで動作可能な任意の適切な構成を有し得る。光計測ユニット 1 8 は、特定の処理時間 t の間に処理される構造物 W に、例えば、分光測光といった光計測を適用する。

【 0 0 2 5 】

特に示さないが、測定ユニット 1 8 は、同一又は異なる照射及び/又は検出アッセンブリを用いて実行される統合測定を追加的に実行するよう構成され得ることに留意されたい。統合測定の原理はそれ自体知られており、詳細に説明する必要はない。

【 0 0 2 6 】

本発明の目的のために、統合測定が追加的に使用され、構造物の 1 又はそれ以上のパラメータについてのデータ入力を与える。これらは、例えば、処理によって実質的に影響を受けない構造パラメータである。

【 0 0 2 7 】

以下でさらに特に説明するように、本発明のいくつかの実施例では、第 2 のパラメータが、測定データ処理の初期段階で判定され、その後、制御される 1 つ又は複数の処理パラメータを特徴付ける構造物の 1 又はそれ以上の所望のパラメータを判定するために使用される。このような 1 つ又は複数の構造パラメータは、比較的強く且つ構造物に適用される処理によって迅速に変動するメインパラメータと称される。いくつかの実施例では、1 又はそれ以上の第 2 のパラメータの判定が、統合測定システムによって測定される 1 又はそれ以上のパラメータを利用する。また、特に示さないが、その場測定の検出アッセンブリは、統合測定ユニットがあればそれとともに、（少なくとも 2 の）異なるタイプの多重検出器を利用し得ることに留意されたい。

【 0 0 2 8 】

例えば、基本的なリソグラフィ処理では、処理に関連する 1 又はそれ以上（通常、1 又はごく少数）のメイン構造パラメータが、実際にその場（in-situ）処理を説明するエッチング深さ、蒸着される層の厚さ、材料除去処理における残りの層の厚さ、等を有する。第 2 の処理に関連する構造パラメータについては、それらは、例えば、比較的弱く且つ処理によってゆっくりと変動する側壁の角度、丸み、等、又は、実際には実質的に「一定の」輪郭を有する、すなわち（前の処理ステップのみによって判定される）構造物によって変動するが各構造物について同じであるいくつかの層（一般に、下方の層）の厚さといった、処理によって変動しないか又は特定の範囲内で変動するパラメータを有する。

【 0 0 2 9 】

したがって、図 1 に戻ると、（例えば、制御システム 1 0 への送信のために適切にフォーマット済みの）検出器 2 8 の出力が、処理時間 t の少なくとも一部の一連のポイント/セグメント t_1, t_2, \dots, t_n で実行される連続測定セッションに対応するデータ

10

20

30

40

50

片DPのシーケンス $S(DP_{t_1}, DP_{t_2}, \dots, DP_{t_n})$ の形式である。このような各測定データ片は、処理時間のそれぞれの時点/セグメントにおける照射スポット(測定点)内の構造物の光応答を示す。

【0030】

制御システム10は、いくつかの実施例では、特定の処理に関連するデータ及び/又は構造物に関連するデータを利用するが、それらは、初期の測定セッションの間に事前に知られ及び/又は取得され、これらのデータは、メモリユーティリティ14に記憶される。また、1又はそれ以上のモデルを有する特定のモデルデータがメモリ14に記憶される。このモデルは、構造物の光応答と構造物の1又はそれ以上のパラメータとの間の関係を説明する。モデルデータは測定データを説明するために使用され、様々な構造パラメータの判定が可能となる。処理時間の少なくとも一部の間の1又はそれ以上の構造パラメータの変化/プロファイルが、制御される1又はそれ以上の処理パラメータを示す。

10

【0031】

したがって、経時的な一連の測定に対応する測定データが、処理ユーティリティ16によって処理される対応するデータ片のシーケンス $S(DP_{t_1}, DP_{t_2}, \dots, DP_{t_n})$ を生成する、制御システム10の入力ユーティリティ12によって連続的に受け取られる。処理ユーティリティ16は、測定データ片のシーケンスを分析し、構造物Wの1又はそれ以上のパラメータ P_i を示すデータを判定するよう構成され且つ動作する構造分析器モジュール30を有する。判定データは、その後、モデルデータを最適化するために処理ユーティリティ16のモデル最適化モジュール32によって使用される。構造物の処理及びそれに関する光計測が進むと、モデルデータが、一連の測定データ片を説明/分析するために、先行する測定データ片に基づいて動的に最適化される。モデルに基づくパラメータ計算器ユーティリティ/モジュール34は一連の測定データ片を分析し、構造物に適用される処理を特徴付ける構造物の少なくとも1のパラメータを判定し、少なくとも1の所望のパラメータを示す出力データを生成するために、そのようにして最適化されたモデルデータを利用する。

20

【0032】

所望の構造パラメータは、構造物の適用される処理の1又はそれ以上の調節可能/制御可能なパラメータを特徴付けるものであり、処理分析器36によって使用され処理ツールに各制御信号を生成する。処理分析器36は制御システム10の一部であるか、又は処理システムの処理コントローラの一部であり、又は場合によっては、処理分析器のソフトウェアユーティリティが、制御システムと処理システムとの間で適切に分散されるとともに、制御システム10及び処理システム間で相互接続可能な別個のコンピュータシステムである。

30

【0033】

いくつかのケースでは、構造物の1又はそれ以上のパラメータ P_i について初めに取得されたデータが、例えば、値の範囲といった、特定のパラメータの予推定を有しており、そのデータがモデルを最適化するのに使用され、その後、一連のデータ片が最適化モデルを使用して分析され同じパラメータの正確な値 P_j を判定する。

【0034】

40

いくつかの他の実施例では、初期パラメータ P_i が、構造物の一定のパラメータか、又は、処理を特徴付けるよう使用される構造物に関連するメインパラメータ P_j と比較して構造物に適用される処理にあまり敏感ではないパラメータである第2のパラメータである。メインパラメータ P_j も同様に第2のパラメータ P_i の1又はそれ以上の値を有することに留意されたい。

【0035】

様々な多層スタックの領域を有するようなパターン構造物に適用される処理のモニタリングで用いる本発明に係る方法のフローチャート200を例示する図2について説明する。まず、初期のモデルデータが与えられ(ステップ202)、制御システムによってアクセス可能なメモリユーティリティに記憶される(例えば、メモリユーティリティは、制御

50

システム又は通信ネットワークを介してアクセス可能な別個の記憶装置の一部である)。上述のように、モデルデータは、(使用される光計測のタイプに対応する)構造物の光応答とパラメータとの間の関係(機能)を説明するものであり、構造物に適用される処理を特徴付けるものを有している。

【0036】

測定は構造物に連続的又は周期的に適用される一方、構造物は、処理時間 t の間に処理される。測定データは、処理時間 t の少なくとも一部 t_n の間に制御システムで連続的に受け取られ、制御システムは、測定データ片のシーケンス $S(DP_{t_1}, DP_{t_2}, \dots, DP_{t_n})$ を動的に生成するよう動作する(ステップ204)。通常、測定データ片のシーケンスの一部(初期部分)が、初期のモデルデータを用いて分析され、モデル最適化データが判定され、最適化モデルが生成される(ステップ206)。その後、最適化モデルは、一連のデータ片の分析のために使用され、構造物の少なくとも1の所望のパラメータが判定される(ステップ208)。上述のように、モデル最適化は、構造物の1又はそれ以上のパラメータの「迅速な」(すなわち、1又は少数の初期データ片からの)判定を有しており、その値をモデルに固定できる。

【0037】

実施例に限定するのではなく本明細書に示すように、モデルデータの最適化段階206もまた動的な手順であり、すなわち、先行するデータ片のそれぞれの(又は周期的に取得される)セット/ストリームが、モデルデータの最適化のために1又はそれ以上のパラメータを判定するために使用され(ステップ206A)、そのようにして最適化したモデルデータが、データ片の一連のセット/ストリームからの構造物の1又はそれ以上のパラメータを判定するために使用され、これらのパラメータにより、図で点線で示すように、さらなるモデルデータの最適化などが可能となる(ステップ206B)。モデルデータのこのような動的な最適化は、最終的な最適化モデルが取得されて、十分な精度で構造物の少なくとも1の所望のパラメータの判定が可能となるまで進む。

【0038】

特に、初期の/先行する時間間隔 $t_k < t_n$ に対応するデータ片のシーケンスの初期の/先行する部分 S_k が、さらに以下で説明するように、構造物の1又はそれ以上のパラメータについての初期の/先行データを取得するよう使用される(例えば、1又はそれ以上の第2のパラメータを判定する)。1又はそれ以上のパラメータについてのこのような初期の/先行データ(例えば、第2のパラメータの値又は値の範囲)は、モデルデータを最適化するよう使用される(ステップ206A, 206B)。例えば、第2のパラメータの値又は値の範囲は、モデルに「固定」される。

【0039】

測定データ片は、一連の測定セッションの間に制御システムで受け取られ、最適化モデルデータを用いて制御システムによって分析され続けることで、構造物の処理を特徴付ける構造パラメータ P_j (例えば、メインパラメータ)の値を判定する(ステップ208)。上述のように、例えば少なくとも1のこのようなパラメータといった、処理を特徴付ける構造パラメータの一部が、さらに、モデルを動的に最適化するために使用され、最適化モデルが、その後、構造物の他のパラメータの判定のため、又はより高い精度での同じパラメータの値の判定のために使用され得る。判定された構造パラメータは、このようなメインの構造パラメータに影響する1又はそれ以上の処理パラメータの予測/分析のために使用され(任意のステップ210)、及び対応する制御信号が処理システムに生成される。

【0040】

データ片の初期のシーケンスの分析について、及び構造物を特徴付ける構造物の少なくとも1のパラメータのモデルデータの最適化及び推定/判定についての結果の使用についてのいくつかの選択肢がある。このようなパラメータの使用は、処理の開始から実行される測定の一式と連動するとともに処理のシーケンスの適合の間に、現時点でパフォーマンスの最適化を可能にするまで、第2の及びメインパラメータ(又は最初に且つ連続的に判

10

20

30

40

50

定されるパラメータ)に起因する。

【0041】

全ての「一定の」第2のパラメータについては、処理ユーティリティが要される多くのポイントを使用して、適切な値を見つけ出し、測定シーケンスにおいてできる限り早くこの値を固定する。全ての「非一定且つ弱く変動する」第2のパラメータについては、処理アルゴリズムが、処理を通して一貫した変化は小さいものと仮定し、又は局在的な(時間内の)処理シーケンスの段階について一定であると仮定する。メインパラメータについては、処理アルゴリズムが、「既知の」平均処理速さ(例えば、エッチング速さ、又は材料除去速さ、又は材料蒸着速さ)に基づいて時間とともに予想される挙動を仮定し、局在的な(時間内の)処理シーケンスの段階(同じ関数に対する局在的に線形又は非線形従属)について同じような挙動を仮定し得る。

10

【0042】

プロファイルパラメータの同じような定義が、予想される帰還信号(光応答)の計算のために使用される全てのパターン(スタック)についてなされている。様々なスタックのパラメータが、フレキシブル処理に関連する方法で結合される。多層スタックからの光応答又は符号(スペクトル)の計算は、スタックの相対的重量を説明するのに、及び測定点におけるスタックの場所の細かい形状定義に使用できる。さらに、入射光(光システム)の特徴が計算に考慮される。

【0043】

測定ユニットは、標準的OCD及び/又は(同じ/異なるその場検出器を含む)他の測定結果を利用する。

20

【0044】

いくつかの実施例においては、本発明の制御システムが、構造物の1又はそれ以上のパラメータの判定のために、予測定の外部注入を利用する。例えば、上述のように、処理によって変動しない第2の「一定の」パラメータが、できる限り早く(処理が開始する前又は処理の第1の初期部分の間に)、判定され且つ固定されるそれらの値を有することを必要とする。この目的のために上述のように、予測定が、別のその場センサによる同じ又は他の処理チャンパで、及び/又は統合計測及び/又は任意の独立型ツールを用いて処理チャンパの外部で行い、その場測定について関連する構造及び/又は処理パラメータ(蒸着層の厚さを含む、全て又は少なくともいくつかの外形パラメータ)を判定し得る。これらの値は、モデル(「一定の」外形パラメータ)の中に注入され及び/又は判読(メイン及び第2の処理パラメータ)についての開始点として使用され得る。測定は、ウェハ上の全ての関連する場所について行うことができ、関連する情報のみが注入される。(例えば、ゼロ次垂直入射分光光度計に基づく)本発明の技術に有用なその場(終点)及び統合計測サブシステムを具える組み合わせシステムの例は、本出願の譲受人に帰属する米国特許6,764,379号に開示されている。したがって、この開示書類の内容は、これらの特定の例に関して参照することによりここに盛り込まれている。

30

【0045】

いくつかの実施例では、本発明の制御システムが、スペクトル情報に関する外部注入の予測定を利用する。特に、測定点の中の様々なスタックから帰還する信号(例えば、反射)が、その場の共通する符号(例えば、反射スペクトル)の中に組み込まれる。これらの異なるスタックのそれぞれは、ウェハの正確な位置で10乃至50ミクロンの比較的小さな点の測定を与える、(例えば、Nova Measuring Instruments Ltd. から市販されている)統合型及び/又は独立型システムによって測定され得る。これらの正確な予測定は、モデル化するのが難しいウェハの非周期的構造/パターンからやって来る反射をその場信号から除去することによって、測定されるその場信号を「修正」するよう注入され且つ使用され得る。非周期的パターンによる影響のこのような除去により、ダイアレイのメモリに関する終点の測定処理の良好な収束を可能にする。

40

【0046】

いくつかの実施例では、本発明の制御システムが、外形パラメータに関して測定後の外

50

部注入を利用する。特に、予測定情報に加えて、測定後のデータもまた必要に応じて使用して、解の特定のパラメータを調整し又はデータ処理アルゴリズムによって使用される特定の初期設定ファクタ及び仮定を再計算できる。これらの値は、モデルの中に注入され（「一定の」外形パラメータ）及び／又は解釈に関する開始点として使用され得る。

【0047】

いくつかの実施例では、外形パラメータに関する内部注入を使用できる。最新の処理の大部分において、同じチャンバで所要の結果を生成するよう使用される多くの工程がある。処理全体のその場モニタリングが、全ての工程、又は工程のいくつかのサブセットをカバーする。全ての工程に関して1つの方策の代わりに複数の方策が使用されるケースがあり、各方策が特定の処理工程に関して最適化される。このケースでは、シーケンスにおけるそれぞれの前の方策が、次の方策に全ての関連するパラメータを注入する。これらの値は、モデルの中に注入され（「一定の」外形パラメータ）及び／又は解釈に関する開始点として使用される（メイン及び第2のパラメータ）。

10

【0048】

上述のように、測定ユニットが多重照射／検出ユニット又は同じ照射アセンブリに付随する多重検出器を利用することで、多重検出器からの情報の平行（同時）処理を可能にする。追加的な検出器がその場で使用されるケースでは、これらの検出器からの情報をリアルタイムで使用して、処理に関する関連情報の注入として、及びジョブを行うよう一緒に使用され得る追加信号として、予測結果を改善できる。多重検出器が、ウェハ上の様々な場所を「見ている」場合、ウェハにわたって符号（光応答）を判定でき、処理にわたって制御できる。これは、ウェハの位置が処理の間に検出器に対して変化する場合、処理にとって特に重要である。このような処理の例の1つは、化学機械平坦化（CMP）であり、ウェハが固定された検出器の上方に移動する。検出器に対するウェハの相対位置に関する情報は、多重検出器からの情報の同時解釈とともに、CMP速度及びウェハ全体の均一性双方の制御を可能にする。

20

【0049】

プラズマ／ガス／組成／等といった異なる検出器及び／又は処理に関連するパラメータからの情報の変化が、データ処理アルゴリズムの中に組み込まれ、最適収束を可能にする。特別な例は、測定スペクトルに関する（製造によるプラズマガスにせよ又はエッチングにせよ）有効な周囲環境における変化の影響であり、その場合、いくつかの工程に関しては、報告される幾何学的な外形パラメータに精度に影響を与えずに、測定の有効な周囲環境を真空中に近似できない。このようなケースでは、周囲の環境を正確に（光学的に）説明する必要がある。このような周囲環境は、ツール／処理／ウェハのスタック／ガス／プラズマ／等のパラメータに左右される可能性があり、処理ツールからこのような詳細な瞬間的な情報を受け取ることが、瞬間的なモデルの表現及び正確な外形測定に関する正しい周囲環境のモデルを選択することを補助し得る。

30

【図 1】

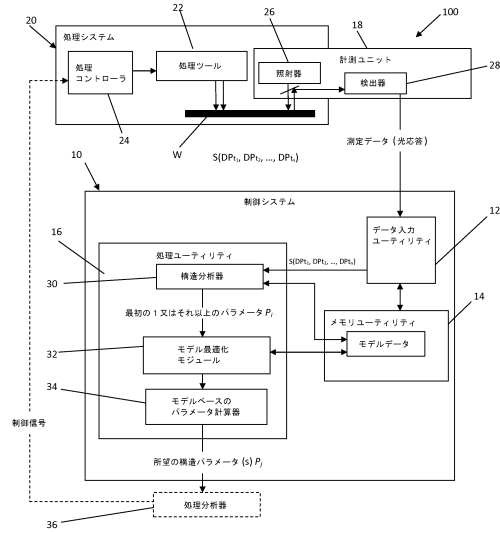


FIG. 1

【図 2】

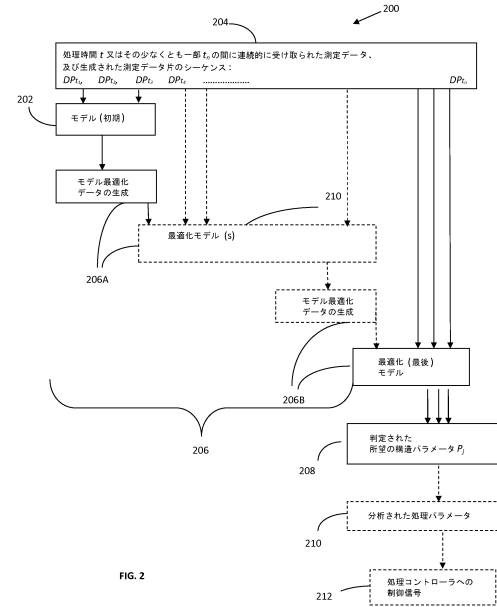


FIG. 2

フロントページの続き

(72)発明者 ボズドッグ, コーネル

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95118, サンノゼ, ウィローデールドライブ 1536

(72)発明者 エリアシィ, ダリオ

イスラエル国 エルサレム 9358922, スデロットシャイアグノン 10

審査官 眞岩 久恵

(56)参考文献 米国特許出願公開第2012/0008147 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30

H01L 21/3065

H01L 21/66