

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7052024号
(P7052024)

(45)発行日 令和4年4月11日(2022.4.11)

(24)登録日 令和4年4月1日(2022.4.1)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/66 (2006.01)

H 0 1 L

21/66

J

G 0 1 N 21/956 (2006.01)

G 0 1 N

21/956

A

請求項の数 20 (全27頁)

(21)出願番号 特願2020-517572(P2020-517572)
(86)(22)出願日 平成30年9月25日(2018.9.25)
(65)公表番号 特表2020-535658(P2020-535658
A)
(43)公表日 令和2年12月3日(2020.12.3)
(86)国際出願番号 PCT/US2018/052507
(87)国際公開番号 WO2019/067375
(87)国際公開日 平成31年4月4日(2019.4.4)
審査請求日 令和3年9月22日(2021.9.22)
(31)優先権主張番号 62/564,119
(32)優先日 平成29年9月27日(2017.9.27)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 16/138,813
(32)優先日 平成30年9月21日(2018.9.21)
最終頁に続く

(73)特許権者 500049141
ケーエルエー コーポレーション
アメリカ合衆国 カリフォルニア ミルピ
タス ワン テクノロジー ドライブ
(74)代理人 110001210
特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
(72)発明者 アトキンス フィリップ アール
アメリカ合衆国 カリフォルニア サン
ノゼ ザ アラメダ 1 3 2 6 アパートメ
ント 1 6 2
(72)発明者 ダイ チー
アメリカ合衆国 カリフォルニア サン
ノゼ アベニーダ ベニート 1 2 1 3
(72)発明者 リー ライ - クワン リッチ
アメリカ合衆国 カリフォルニア フレモ
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 非対称構造の検出及び寸法計測

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一群の広帯域光学輻射を生成するよう構成された照明源と、
前記一群の広帯域光学輻射を、前記照明源から半導体ウェハの表面上にある計測スポット
へと、二通り以上のアジマス角それぞれにて差し向けるよう構成された、1個又は複数個
の光学素子と、
それら二通り以上のアジマス角それぞれにて半導体ウェハが照明されるのに応じその半導
体ウェハからの一群の計測光を検出し、検出された一群の計測光それぞれに基づきその照
明に対する注目構造の計測スペクトル応答を判別するよう構成されており、ミューラー行列
の複数個の要素に係るスペクトルが各計測スペクトル応答に含まれるスペクトロメータと、
情報処理システムと、
を備え、その情報処理システムが、
前記二通り以上のアジマス角に係る計測スペクトル応答群に対するモデル化スペクトル応
答の当て嵌めに基づき、前記注目構造を特徴付ける1個又は複数個の限界寸法パラメタの
値を推定し、
各計測スペクトル応答に係る、前記ミューラー行列の1個又は複数個の非対角要素について
、少なくとも1個のスペクトルの1個又は複数個のサブ波長域を選定し、
前記ミューラー行列の前記1個又は複数個の非対角要素の前記少なくとも1個のスペクトル
を、選定された前記1個又は複数個のサブ波長域に亘り積分することで、1個又は複数個
のスペクトル応答指標を生成し、且つ

前記注目構造の非対称フィーチャを記述する 1 個又は複数個の幾何パラメタの値を、前記 1 個又は複数個の限界寸法パラメタの値及び前記 1 個又は複数個のスペクトル応答指標に基づき推定するよう、構成されている計量システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記情報処理システムが、更に、

前記 1 個又は複数個の幾何パラメタの値を半導体製造ツールに送るよう構成されており、その半導体製造ツールが、当該 1 個又は複数個の幾何パラメタの値に基づき半導体製造プロセスの制御パラメタを調整することで、その計測された非対称性により特徴付けられる構造欠陥を減らす計量システム。

10

【請求項 3】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記二通り以上のアジマス角が、互いに垂直な二通りのアジマス角を含む計量システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記ミューラー行列の前記 1 個又は複数個の非対角要素が、そのミューラー行列の M_{30} 要素を含む計量システム。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記ミューラー行列の前記 1 個又は複数個の非対角要素が、そのミューラー行列の M_{20} 要素と M_{02} 要素との和を含む計量システム。

20

【請求項 6】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記ミューラー行列の 1 個又は複数個の非対角要素についての、少なくとも 1 個のスペクトルの前記 1 個又は複数個のサブ波長域の選定が、その 1 個又は複数個のサブ波長域内で所定閾値を上回るスペクトル応答を呈する、1 個又は複数個のサブ波長域の選定を伴う計量システム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記 1 個又は複数個の幾何パラメタの値の推定が複数個のスペクトル応答指標に基づくものであり、それら複数個のスペクトル応答指標それぞれが別様に加重される計量システム。

30

【請求項 8】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記注目構造の非対称フィーチャを記述する前記 1 個又は複数個の幾何パラメタに、孔フィーチャの傾斜角及び姿勢角のうち何れかが含まれる計量システム。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記注目構造が高アスペクト比メモリ構造である計量システム。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記 1 個又は複数個の幾何パラメタの値の推定に、前記 1 個又は複数個の限界寸法パラメタの値及び前記 1 個又は複数個のスペクトル応答指標を当該 1 個又は複数個の幾何パラメタの値に関連付ける訓練済ニューラルネットワークモデルが関わる計量システム。

40

【請求項 11】

請求項 1 に記載の計量システムであって、

前記 1 個又は複数個の幾何パラメタの値の推定に、前記 1 個又は複数個の限界寸法パラメタの値及び前記 1 個又は複数個のスペクトル応答指標を当該 1 個又は複数個の幾何パラメタに関連付ける線形回帰モデルが関わる計量システム。

【請求項 12】

50

半導体ウェハ上に作成された注目構造を一群の広帯域光学輻射で以て二通り以上のアジマス角それぞれにて照明するステップと、
それら二通り以上のアジマス角それぞれにて前記半導体ウェハが照明されるのに応じその半導体ウェハからの一群の計測光を検出するステップと、
前記二通り以上のアジマス角それぞれにてもたらされる照明に対する前記注目構造の計測スペクトル応答を、検出された一群の計測光それぞれに基づき判別するステップであり、ミューラー行列の複数個の要素に係るスペクトルが各計測スペクトル応答に含まれるステップと、
前記二通り以上のアジマス角に係る計測スペクトル応答群に対するモデル化スペクトル応答の当て嵌めを踏まえ、1個又は複数個の限界寸法パラメタの値を推定するステップと、
各計測スペクトル応答に係る、前記ミューラー行列の1個又は複数個の非対角要素について、少なくとも1個のスペクトルの1個又は複数個のサブ波長域を選定するステップと、
前記ミューラー行列の前記1個又は複数個の非対角要素の前記少なくとも1個のスペクトルを、選定された前記1個又は複数個のサブ波長域に亘り積分することで、1個又は複数個のスペクトル応答指標を生成するステップと、
前記注目構造の非対称フィーチャを記述する1個又は複数個の幾何パラメタの値を、前記1個又は複数個の限界寸法パラメタの値及び前記1個又は複数個のスペクトル応答指標に基づき推定するステップと、
を有する方法。

【請求項13】

請求項12に記載の方法であって、更に、
前記1個又は複数個の幾何パラメタの値を半導体製造ツールに送るステップを有し、その半導体製造ツールが、当該1個又は複数個の幾何パラメタの値に基づき半導体製造プロセスの制御パラメタを調整することで、その計測された非対称性によって特徴付けられる構造欠陥を減らす方法。

【請求項14】

請求項12に記載の方法であって、
前記二通り以上のアジマス角が、互いに垂直な二通りのアジマス角を含む方法。

【請求項15】

請求項12に記載の方法であって、
前記ミューラー行列の1個又は複数個の非対角要素についての、少なくとも1個のスペクトルの前記1個又は複数個のサブ波長域の選定が、その1個又は複数個のサブ波長域内で所定閾値を上回るスペクトル応答を呈する、1個又は複数個のサブ波長域の選定を伴う方法。

【請求項16】

請求項12に記載の方法であって、
前記1個又は複数個の幾何パラメタの値の推定に、当該1個又は複数個の幾何パラメタを前記1個又は複数個の限界寸法パラメタの値及び前記1個又は複数個のスペクトル応答指標に関連付ける訓練済ニューラルネットワークモデルが関わる方法。

【請求項17】

請求項12に記載の方法であって、
前記1個又は複数個の幾何パラメタの値の推定に、当該1個又は複数個の幾何パラメタを前記1個又は複数個の限界寸法パラメタの値及び前記1個又は複数個のスペクトル応答指標に関連付ける線形回帰モデルが関わる方法。

【請求項18】

請求項12に記載の方法であって、前記ミューラー行列の1個又は複数個の非対角要素は、前記ミューラー行列の少なくとも2つの要素の和を含む方法。

【請求項19】

一群の広帯域光学輻射を照明源から半導体ウェハの表面上にある計測スポットへと、二通り以上のアジマス角それぞれにて差し向けるよう構成された1個又は複数個の光学素子と、それら二通り以上のアジマス角それぞれにて半導体ウェハが照明されるのに応じその半導

10

20

30

40

50

体ウェハからの一群の計測光を検出し、検出された一群の計測光それぞれに基づきその照明に対する注目構造の計測スペクトル応答を判別するよう構成されており、ミューラー行列の複数個の要素に係るスペクトルがその計測スペクトル応答に含まれるスペクトロメータと、

命令で構成されるコンピュータ可読媒体と、

を備え、それら命令が１個又は複数個のプロセッサにより実行されたときに、当該１個又は複数個のプロセッサが、

前記計測スペクトル応答に対するモデル化スペクトル応答の当て嵌めを踏まえ１個又は複数個の限界寸法パラメタの値を推定し、

前記計測スペクトル応答に係る、前記ミューラー行列の１個又は複数個の非対角要素について、少なくとも１個のスペクトルの１個又は複数個のサブ波長域を選定し、

前記ミューラー行列の前記１個又は複数個の非対角要素の前記少なくとも１個のスペクトルを、選定された前記１個又は複数個のサブ波長域に亘り積分することで、１個又は複数個のスペクトル応答指標を生成し、且つ

前記注目構造の非対称フィーチャを記述する１個又は複数個の幾何パラメタの値を、前記１個又は複数個の限界寸法パラメタの値及び前記１個又は複数個のスペクトル応答指標に基づき推定する、

計量システム。

【請求項 20】

請求項 19 に記載の計量システムであって、

前記コンピュータ可読媒体が、更に、前記命令が前記１個又は複数個のプロセッサにより実行されたときに、当該１個又は複数個のプロセッサが、

前記１個又は複数個の幾何パラメタの値を半導体製造ツールに送るよう構成されており、その半導体製造ツールが、当該１個又は複数個の幾何パラメタの値に基づき半導体製造プロセスの制御パラメタを調整することで、その計測された非対称性により特徴付けられる構造欠陥を減らす計量システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

記載されている諸実施形態は計量システム及び方法に関し、より具体的には、改良された半導体構造計測方法及びシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

(関連出願への相互参照)

本件特許出願は、「非対称構造の検出及び寸法計測」(Detection And Measurement of Dimensions of Asymmetric Structures)と題する 2017 年 9 月 27 日付米国暫定特許出願第 62 / 564119 号に基づき米国特許法第 119 条の規定による優先権を主張するものであるので、参照によりその主題の全容を本願に繰り入れることにする。

【0003】

半導体デバイス例えば論理デバイス及び記憶デバイスは、通常、一連の処理工程を試料に適用することで製造される。その半導体デバイスを構成する様々なフィーチャ(外形特徴)及び複数個の構造階層が、それら処理工程によって形成される。例えばリソグラフィは、就中、半導体ウェハ上でのパターン生成を伴う半導体製造プロセスの一つである。半導体製造プロセスの更なる例としては、これに限られるものではないが化学機械研磨、エッチング、堆積及びイオンインプランテーションがある。単一の半導体ウェハ上に複数個の半導体デバイスを作成した後、それらを個別の半導体デバイスに分離させるようにするとよい。

【0004】

計量プロセスは、半導体製造プロセス中の様々な工程にて、ウェハ上の欠陥を検出し歩留まり向上を促すために用いられている。光学計量技術には、標本破壊のリスク無しで高い

10

20

30

40

50

スルーブットをもたらす見込みがある。スカタロメトリ（散乱計測）及びリフレクトメトリ（反射計測）装置を初めとする多数の光学計量依拠技術や、それに関連する分析アルゴリズムが、限界寸法、膜厚、組成、オーバレイその他、ナノスケール構造のパラメタ群を解明するのに広く用いられている。

【0005】

多くの光学計量システムでは試料の物理特性が間接的に計測される。大抵の場合、計測された光学信号を用い直に注目物理特性を判別することができない。

【0006】

旧来から、計測プロセスは計量モデルの定式化で構成されており、それによって、計量ターゲットと個別計量システムとの相互作用のモデルに基づく計測光学信号の予測が図られていた。その計測モデルには、その計測ターゲットの注目物理特性によるその構造のパラメタ化が組み込まれていた（例：膜厚、限界寸法、屈折率、格子ピッチ等）。加えて、その計測モデルには、計測ツール自体のパラメタ化が組み込まれていた（例：波長、入射角、偏向角等）。例えばマシンパラメタは、それを用い計量ツール自体を特徴付けうるパラメタである。マシンパラメタの例としては入射角（AOI）、検光器角（A₀）、偏光子角（P₀）、照明波長、数値開口（NA）等々がある。試料パラメタは、それを用い試料の幾何特性及び素材特性を特徴付けうるパラメタである。薄膜試料に係る試料パラメタの例としては、屈折率、誘電関数テンソル、諸々の層の公称層厚、層順等々がある。

【0007】

計測目的の場合は、マシンパラメタが既知の固定パラメタとして扱われ、試料パラメタ又はそのサブセットが未知の浮動パラメタとして扱われる。それら浮動パラメタの解明は、計測モデルから導出される理論予測スペクトルデータと計測スペクトルデータとの間の最良当て嵌めを図る当て嵌めプロセス（例：回帰、ライブラリマッチング等々）により行われる。反復的な要領にて、未知の試料パラメタを変化させつつ、モデル化されたスペクトルを計算し、計測されたスペクトルデータと比較することで、やがては、それらモデル化スペクトル・計測スペクトル間の密マッチをもたらす一組の試料パラメタ値が求まる。

【0008】

この旧来型モデル依拠計測手法が、非対称構造フィーチャ及び対称構造フィーチャを記述するパラメタの推定に適用されてきた。幾つかの例では、非対称構造フィーチャを記述するパラメタの推定が、特定の非対角ミュー要素に係るモデル化スペクトル・計測スペクトル間マッチングを補強することで改善されていた。この手法については、Rabe et al. 名義の特許文献1に更に詳細に記述されているので、参照によりその全容を本願に繰り入れることにする。

【0009】

不運なことに、多くの場合、幾つかの注目パラメタ、とりわけ非対称構造フィーチャを記述するパラメタが、計測スペクトル応答に対し弱くしか相関しない。こうした場合、非対称構造フィーチャを記述するパラメタの変化が、得られるスペクトルに顕著な変化をもたらさない。このことで、計測ノイズや計測モデルの誤差を原因とした、それらパラメタの回帰値の不確定性が増している。

【0010】

更に、スペクトル当て嵌め法では、通常、数個のモデルパラメタに関し最良当て嵌めを達成することが求められる。複数個のモデルパラメタを変化させつつ、シミュレーションスペクトル・計測スペクトル間最良マッチをもたらすパラメタ集合をサーチするのである。これにより、最良当て嵌めサーチ空間の広がりが増し、往々にして、計測スペクトル応答と弱くしか相関しないパラメタ、とりわけ非対称構造フィーチャを記述するパラメタが抑制されることとなる。

【0011】

加えて、注目パラメタのモデル依拠計測は、単一入射平面からの注目構造の計測に依拠していることが多い。その入射平面沿いに非対称フィーチャが存している場合、もたらされるスペクトル信号（例：1個又は複数個の非対角ミュー信号）が、その非対称性に対し

10

20

30

40

50

鈍感になることがある。

【 0 0 1 2 】

結果として、旧来技術を用いモデル化スペクトルを計測スペクトルとマッチングさせることでは、非対称構造フィーチャを記述するパラメタを高信頼決定できないことが多々あった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 1 3 】

【文献】米国特許第 8 5 2 5 9 9 3 号明細書

米国特許第 9 4 7 0 6 3 9 号明細書

10

米国特許第 8 5 2 5 9 9 3 号明細書

米国特許第 9 2 5 5 8 7 7 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 4 】

概して、フィーチャサイズ縮小及び構造フィーチャ深さ増大の進行は、光学計量システムに対し面倒な要件を課している。光学計量システムに求められているのは、ますます複雑化しているターゲットに向けた高い精度及び正確性要件を満たすこと、それを高スループットにて行うこと、ひいてはコスト効率を維持することである。注目構造フィーチャの多くは非対称性を呈する。とりわけ、先進的メモリ構造の作成には深い孔が付きものであり、これは頻繁に非対称性を呈する。こうした脈絡に沿い、非対称構造フィーチャの高信頼度計測が、光学計量システムの有効性における重要因子として浮上してきている。即ち、非対称構造フィーチャの計測に係る制約を克服しうる、改善された計量システム及び方法が望まれている。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 5 】

半導体構造の非対称フィーチャの分光計測を実行する方法及びシステムがここに提示される。計測スペクトルを処理することで、先進的半導体構造の作成に起因する対称性破壊欠陥の計測が補強される。

【 0 0 1 6 】

ある態様では、注目構造の非対称フィーチャを記述する 1 個又は複数個の幾何パラメタの値が、スペクトルマッチングによって高信頼推定された 1 個又は複数個の限界寸法パラメタの値と、1 個又は複数個のスペクトル応答指標とに基づき決定される。スペクトル応答指標はスカラー値であり、1 個又は複数個の非対角ミューラー行列要素に係るスペクトルから導出される。一般に、それらスペクトル応答指標は、その非対称フィーチャや、スペクトルマッチングにより高信頼決定される他の限界寸法に依存する。

30

【 0 0 1 7 】

幾つかの実施形態では、訓練された線形モデルによって、非対称性パラメタが、1 個又は複数個のスペクトル応答指標、並びにスペクトルマッチングにより高信頼決定された一通り又は複数通りの限界寸法に関連付けされる。その非対称性パラメタの推定値が、その訓練済モデルの回帰により決定される。

40

【 0 0 1 8 】

幾つかの実施形態では、訓練されたニューラルネットワークモデルによって、それら計測されたスペクトル応答指標及び限界寸法パラメタが、その非対称性パラメタの値に対しマッピングされる。

【 0 0 1 9 】

幾つかの実施形態では、モデルの組合せ、例えば訓練された線形モデル及び訓練されたニューラルネットワークモデルが採用され、それらにより 1 個又は複数個の非対称性パラメタの値が推定される。

【 0 0 2 0 】

50

更なる態様では、注目構造のスペクトル計測が、二通り以上の相異なるアジマス角にて実行される。もたらされる計測結果を用い、その構造の非対称フィーチャを特徴付ける 1 個又は複数個の幾何パラメタが推定される。ある好適実施形態では、互いに直交する二通りのアジマス角にてスペクトル計測が実行される。複数通りの直交計測を組み合わせることで、注目構造の非対称フィーチャ及びその非対称フィーチャがそれ沿いに存する軸を特徴付ける、幾何パラメタ群の精密推定が可能になる。

【0021】

他の更なる態様では、そのミューラー行列の 1 個又は複数個の非対角要素に係る計測スペクトルを積分することでスペクトル応答指標が決定される。スペクトル応答指標は、非対称性に起因するスペクトル応答のスカラー指標である。計測スペクトルに亘る積分により、そのミューラー行列要素又はミューラー行列要素組合せに係る信号強度が増しノイズが減少する。

10

【0022】

他の更なる態様では、そのミューラー行列の 1 個又は複数個の非対角要素に係る 1 個又は複数個のサブ波長域が選定される。更に、そのミューラー行列のその 1 個又は複数個の非対角要素に係るスペクトルを、それら選定されたサブ波長域に亘り積分することで、スペクトル応答指標が決定される。幾つかの例では、利用可能な計測スペクトルのうち選定された部分に基づきスペクトル応答指標を決定することで、非対称フィーチャを記述するパラメタ（群）に対する、そのスペクトル応答指標の感度を向上させる。その非対称フィーチャに対し最高感度を呈する波長が強調され、ランダムノイズの影響が積分により解消されることで、これが達成される。

20

【0023】

更なる態様では、例えば、各スペクトル応答指標を相異なる定数で以てスケールリングすることによって、相異なるスペクトル応答指標が別様に加重される。こうすることで、特定の非対称性パラメタに対しより敏感なスペクトル応答指標が、当該特定の非対称性パラメタに対しさほど敏感でないスペクトル応答指標に比べ、より重く加重される。

【0024】

更に他の態様では、本願記載の計測結果が、製造プロセスツール（例：リソグラフィツール、エッチングツール、堆積ツール等々）へと、能動フィードバックとして提供される。

【0025】

以上は概要であるので、随所に単純化、一般化及び細部省略が含まれている；従って、本件技術分野に習熟した者（いわゆる当業者）には察せられる通り、この概要は専ら例証であり限定ではない。本願記載のデバイス・装置及び／又はプロセス・処理の他の態様、新規特徴及び長所については、本願にて説明される非限定的詳細記述にて明らかとされよう。

30

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図 1】一実施形態に従い非対称構造フィーチャの分光計測を実行する計量システム 100 を示す図である。

【図 2】図 1 に示したウェハ 120 であり傾斜孔フィーチャ 150 を有するものの頂面図である。

40

【図 3】図 2 に示した断面 A での断面図である。

【図 4】図 2 に示した断面 A であり複数個の孔セクションを有するものの断面図である。

【図 5】ミューラー行列要素 M_{02} 及び M_{20} の和に係るスペクトル応答 153 の描像を示す図である。

【図 6】シミュレーション結果のプロットを示す図であり、そのシミュレーションに係る実傾斜角と、本願記載の訓練済線形モデルにより推定された傾斜角の回帰値と、の間の比較が描かれている。

【図 7】シミュレーション結果のプロットを示す図であり、図 6 に示したものと同じシミュレーションに係る実姿勢角と、本願記載の訓練済線形モデルにより推定された姿勢角の回帰値と、の間の比較が描かれている。

50

【図 8】シミュレーション結果のプロットを示す図であり、実傾斜角と、ニューラルネットワークモデル及び訓練済線形モデルの組合せにより推定された傾斜角の回帰値と、の間の比較が描かれている。

【図 9】シミュレーション結果のプロットを示す図であり、実姿勢角と、ニューラルネットワークモデル及び訓練済線形モデルの組合せにより推定された姿勢角の回帰値と、の間の比較が描かれている。

【図 10】シミュレーション結果のプロットを示す図であり、実傾斜角と、訓練済ニューラルネットワークモデルにより推定された傾斜角の回帰値と、の間の比較が描かれている。

【図 11】高アスペクト比注目 N A N D 構造の例を示す図である。

【図 12】少なくとも 1 個の新規態様に従い非対称構造フィーチャの分光計測を実行する方法 200 を描いた図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本発明の背景例及び幾つかの実施形態でありその例が添付図面に描かれているものを、詳細に参照することにする。

【0028】

本願では、半導体構造の非対称フィーチャの分光計測を実行する方法及びシステムが提示される。計測されたスペクトル（計測スペクトル）を処理することで、先進的半導体構造の作成に起因する対称性破壊欠陥の計測が補強される。例えば、エッチングにより深い孔を作成するプロセスを制御することが、高アスペクト比メモリ構造、例えば三次元 N A N D メモリの作成における肝要プロセス要件として浮上している。注目構造の計測を二通り以上のアジマス角にて実行することで、任意姿勢の非対称フィーチャに対する感度が確保される。非対称性に対し敏感な 1 個又は複数個の非対角ミューラー行列要素に係るスペクトルが、更なる分析に備え選定される。その選定されたスペクトルが、更に、信号対雑音比が高まるよう選定された 1 個又は複数個のサブ波長域へと細分される。当該選定されたスペクトルを当該選定されたサブ波長域に亘り積分することで、それら非対角ミューラー行列要素に係るスペクトル応答指標が生成される。非対称フィーチャの幾何を特徴付けるパラメタの値が、それらスペクトル応答指標と、旧来のスペクトルマッチング依拠技術により計測された限界寸法パラメタとに基づき、決定される。それらフィーチャのそれぞれ又は組合せにより、高アスペクト比構造（例、 $1\mu\text{m}$ 以上の深さを有する構造）に備わる非対称フィーチャの高スループット計測を、高いスループット、精度及び正確性で以て行うことが可能となる。

20

30

【0029】

図 1 に、半導体構造の非対称構造フィーチャの計測を実行する計量システムの例 100 を示す。幾つかの例によれば、それら半導体構造は少なくとも 1 個の高アスペクト比（H A R）構造を有している。図 1 に示すように、計量システム 100 は広帯域分光エリプソメータ（楕円偏向計）として構成されている。しかしながら、一般に、計量システム 100 が分光リフレクトメータ（反射計）、スキャタロメータ（散乱計）、エリプソメータ又はその任意な組合せとして構成されることもある。

【0030】

計量システム 100 は、ウェハ 120 上に入射する照明光 117 のビームを生成する照明源 110 を有している。幾つかの実施形態では、照明源 110 が、紫外、可視及び赤外スペクトル域の照明光を放射する広帯域照明源とされる。一実施形態に係る照明源 110 はレーザ維持プラズマ（L S P）光源（いわゆるレーザ駆動プラズマ光源）である。その L S P 光源のポンプレーザは、連続波レーザかパルスレーザにすればよい。レーザ駆動プラズマ光源であれば、 $150\text{nm} \sim 2000\text{nm}$ の波長域全体に亘り、キセノンランプに比べかなり多くの光子を産生することができる。照明源 110 を単一光源とすることも、複数個の広帯域又は離散波長光源の組合せとすることもできる。照明源 110 により生成される光には、紫外～赤外（例、真空紫外～中赤外）に亘る連続スペクトル又はその諸部分が含まれる。一般には、照明光源 110 が、超連続体（超広帯域）レーザ光源、赤外ヘリ

40

50

ウムネオンレーザ光源、アークランプその他、どのような好適な光源を有していてもよい。

【0031】

更なる態様では、その一群の照明光が、少なくとも500nmに亘る波長域を含む広帯域照明光とされる。例えば、250nm超の波長及び750nm未満の波長を含む広帯域照明光である。一般的には、120nm～3000nmの波長を含む広帯域照明光とする。幾つかの実施形態では、3000nm超の波長を含む広帯域照明光が採用されよう。

【0032】

図1に示すように、計量システム100は照明サブシステムを有しており、ウェハ120上に形成された1個又は複数個の構造へと照明光117を差し向けるようそれが構成されている。その照明サブシステムは、図示によれば、光源110、1個又は複数個の光学フィルタ111、偏向部材112、視野絞り113、開口絞り114及び照明光学系115を有している。当該1個又は複数個の光学フィルタ111は、この照明サブシステムに発する光レベル、スペクトル出力又はその双方を制御するのに用いられている。幾つかの例では、1個又は複数個のマルチゾーンフィルタが光学フィルタ111として採用される。偏向部材112は所望の偏向状態を発生させ、それが照明サブシステムから出射される。幾つかの実施形態では、その偏向部材が偏光子、補償器又はその双方とされ、これにはあらゆる好適な市販偏向部材が含まれうる。この偏向部材は、固定されていてもよいし、様々な固定ポジションへと回せるものでもよいし、或いは連続的に回せるものでもよい。図1に示した照明サブシステムは偏向部材を1個有しているが、照明サブシステムが偏向部材を複数個有していてもよい。視野絞り113はこの照明サブシステムの視野(FOV)を制御するものであり、これにはあらゆる好適な市販視野絞りが含まれうる。開口絞り114はその照明サブシステムの数値開口(NA)を制御するものであり、これにはあらゆる好適な市販開口絞りが含まれうる。照明源110からの光は照明光学系115を介し差し向けられ、ウェハ120側にある1個又は複数個の構造(図1には示さず)上に集束される。この照明サブシステムに備わるのが、分光エリプソメトリ(楕円偏向計測)、リフレクトメトリ及びスカタロメトリの分野にて既知な、何れの種類及び配列の光学フィルタ(群)111、偏向部材112、視野絞り113、開口絞り114及び照明光学系115であってもよい。

【0033】

図1に示すように、照明光117のビームは、光学フィルタ(群)111、偏向部材112、視野絞り113、開口絞り114及び照明光学系115を通りつつ、照明源110からウェハ120へと伝搬していく。ビーム117によって、ウェハ120のうち計測スポット116上にある部分が照明される。

【0034】

計量システム100は集光光学系サブシステムをも有しており、当該1個又は複数個の構造と入射照明ビーム117との相互作用により生じる光を集めるようそれが構成されている。集光光127のビームは集光光学系122により計測スポット116から集められる。集光光127は集光光学系サブシステムの集光開口絞り123、偏向素子124及び視野絞り125内を通過する。

【0035】

集光光学系122は、備わる何らかの好適な光学素子により、ウェハ120上に形成された1個又は複数個の構造から光を集める。集光開口絞り123は集光光学系サブシステムのNAを制御する。偏向素子124は上掲の所望偏向状態を検光する。偏向素子124は偏光子又は補償器である。偏向素子124は、固定されたものでも、様々なポジションへと回せるものでも、或いは連続的に回せるものでもよい。図1に示した集光サブシステムは偏向素子を1個有しているが、集光サブシステムが偏向素子を複数個有していてもよい。集光視野絞り125はその集光サブシステムの視野を制御する。その集光サブシステムはウェハ120から光を取り入れ、集光光学系122及び偏向素子124を介しその光を集光視野絞り125上に集束させる。幾つかの実施形態では、集光視野絞り125が、検出サブシステムに備わるスペクトロメータ(分光計)用のスペクトロメータスリットとし

10

20

30

40

50

て用いられる。しかしながら、集光視野絞り 1 2 5 が検出サブシステムに備わるスペクトロメータのスペクトロメータスリットのところ又はその付近に所在するのでもよい。

【 0 0 3 6 】

この集光サブシステムに備わるのが、分光エリプソメトリ、リフレクトメトリ及びスカッタロメトリの分野で既知な何れの種類及び配列の集光光学系 1 2 2、開口絞り 1 2 3、偏向素子 1 2 4 及び視野絞り 1 2 5 であってもよい。

【 0 0 3 7 】

図 1 に示す実施形態では、集光光学系サブシステムが光をスペクトロメータ 1 2 6 へと差し向けている。スペクトロメータ 1 2 6 は、照明サブシステムにより照明された 1 個又は複数個の構造から集まる光に応じて出力を生成する。例えば、スペクトロメータ 1 2 6 に備わる検出器が、紫外光及び可視光（例．1 9 0 n m ~ 8 6 0 n m の波長を有する光）に感応する電荷結合デバイス（C C D）とされる。また例えば、スペクトロメータ 1 2 6 に備わる検出器のうち 1 個又は複数個が、赤外光（例．9 5 0 n m ~ 2 5 0 0 n m の波長を有する光）に感応するフォトディテクタアレイ（P D A）とされる。とはいえ、一般には、他の検出器テクノロジーも想定されよう（例．位置感知検出器（P S D）、赤外検出器、光起電検出器等々）。各検出器は、入射光を、その入射光のスペクトル強度を示す電気信号へと変換する。一般に、スペクトロメータ 1 2 6 は、その照明光に対する計測下構造のスペクトル応答を示す出力信号 1 7 0 を生成する。

【 0 0 3 8 】

計量システム 1 0 0 は情報処理システム 1 3 0 をも有しており、注目構造の計測スペクトル応答を示す信号 1 7 0 を受け取り、計測された構造（群）の非対称フィーチャを記述する 1 個又は複数個の幾何パラメタ 1 7 1 の値をその計測スペクトル応答に基づき推定するよう、それが構成されている。

【 0 0 3 9 】

一般に、注目構造の計測スペクトル応答には、計測された応答を特徴付けるべく採用された、ミューラー行列形式の諸要素に係るスペクトルが含まれる。そのストークス・ミューラー形式により、偏向光による励起に対する媒体の応答が記述される。等式（1）にはミューラー行列 M が示されており、ストークスベクトル S_I により特徴付けられる入射ビームと、ストークスベクトル S_R により特徴付けられる反射ビームと、の関係がそれにより記述されている。

$$S_R = M S_I \quad (1)$$

【 0 0 4 0 】

一般には、ストークスベクトルにより光波の偏向状態が表される。例えば等式（2）はストークスベクトル S を示すものであり、この式中の I は合計強度、 I_0 は伝搬方向に対し垂直な平面内の P 偏向軸に対し 0° なる角度をなす直線偏光子による送波強度、 I_{45} はその伝搬方向に対し垂直な平面内の P 偏向軸に対し 45° なる角度をなす直線偏光子による送波強度、 I_{-45} はその伝搬方向に対し垂直な平面内の P 偏向軸に対し -45° なる角度をなす直線偏光子による送波強度、 I_R は右旋円偏光子による送波強度、 I_L は左旋円偏光子による送波強度である。カッコで括られている諸量は空間的及び時間的に平均化されている。

【 数 1 】

$$S = \begin{bmatrix} I \\ \langle I_0 - I_{90} \rangle \\ \langle I_{45} - I_{-45} \rangle \\ \langle I_R - I_L \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

【 0 0 4 1 】

個別の分光計測では、入射ビームの照明強度及び偏向特性がプログラミングされている。

即ち、その入射ビームに係るストークスベクトル S_I の要素のうち一部又は全てがアプリアリに判明している。更に、反射ビームの強度及び偏向特性はそのスペクトロメータ（即ちスペクトロメータ 126）により計測される。即ち、反射ビームに係るストークスベクトル S_R の要素のうち一部又は全てが計測される。結果として、それらミューラー行列要素のうち一部又は全てが、それら入射光、反射光それぞれの既知な特性、計測された特性に基づき解明される。等式（3）に、そのミューラー行列の諸要素と、ストークスベクトル S_I 、 S_R それぞれの既知要素、計測要素に対するそれらの関係を示す。

【数 2】

$$S_R = \begin{bmatrix} M_{00} & M_{01} & M_{02} & M_{03} \\ M_{10} & M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{20} & M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{30} & M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} S_I \quad (3)$$

【0042】

そのミューラー行列の諸要素のうち一部又は全ては、等式（3）に示した線形的関係に基づき、ストークスベクトル S_I 及び S_R の既知要素から直に決定しうるものである。ミューラー行列の要素のうち一部又は全てが決定されるか否かは、入射光の既知強度及び偏向特性と、反射光の計測強度及び偏向特性とに依存する。例えば、偏光子 112 が回転偏光子として構成され偏光子 124 が回転検光子として構成されている場合、そのミューラー行列の冒頭 3 行及び冒頭 3 カラムに属する諸要素が決定されうる。それに加え、計量システム 100 の照明路及び集光路にて回転補償器が採用されている場合は、 4×4 ミューラー行列の全要素が決定されうる。

【0043】

更なる態様では、1 個又は複数個の限界寸法パラメタの値が、そのミューラー行列の 1 個又は複数個の要素に係る計測スペクトル応答へのモデル化スペクトル応答の当て嵌めを踏まえ決定される。通常は、計測下構造の非対称フィーチャを記述しない多くの限界寸法パラメタが、1 個又は複数個のミューラー行列要素に亘るスペクトルマッチングを踏まえ高信頼推定される。しかしながら、構造の非対称フィーチャを記述する幾何パラメタは、通常、スペクトルマッチングでは高信頼推定されないものであり、そのミューラー行列の個別的非対角要素に係るスペクトルマッチングが採用されている場合でさえそうなる。

【0044】

ある態様では、注目構造の非対称フィーチャを記述する 1 個又は複数個の幾何パラメタの値が、スペクトルマッチングにより高信頼推定された 1 個又は複数個の限界寸法パラメタの値と、1 個又は複数個のスペクトル応答指標とに基づき決定される。そのスペクトル応答指標はスカラー値であり、1 個又は複数個の非対角ミューラー行列要素に係るスペクトルから導出される。一般に、このスペクトル応答指標は、その非対称フィーチャと、スペクトルマッチングにより高信頼決定されるその他の限界寸法とに依存する。発明者が発見したところによれば、スペクトルマッチングを媒介にした限界寸法パラメタの推定を、非対称性パラメタ値の推定から分離させることで、それら非対称性パラメタ値の計測が改善される。幾つかの実施形態では、訓練された線形モデルにより、非対称性パラメタが、1 個又は複数個のスペクトル応答指標と、スペクトルマッチングにより高信頼決定された一通り又は複数通りの限界寸法とに、関連付けされる。その非対称性パラメタの推定値は、その訓練済モデルの回帰により決定される。幾つかの実施形態では、訓練されたニューラルネットワークモデルにより、その計測スペクトル応答指標及び限界寸法パラメタが、その非対称性パラメタの値に対しマッピングされる。幾つかの実施形態ではモデルの組合せ、例えば訓練済線形モデル及び訓練済ニューラルネットワークモデルを用い、1 個又は複数個の非対称性パラメタの値が推定される。一般に、好適なものであれば、どのようなモデル化方法論を採用して 1 個又は複数個の非対称性パラメタの値を推定してもよい。

【 0 0 4 5 】

図 2 に、ウェハ 1 2 0 上に作成された非対称孔フィーチャ 1 5 0 を示す。図 2 に示すように、 XY 座標系はウェハ 1 2 0 に固定されている。その XY 座標系の X 軸はウェハ 1 2 0 のスクライブライン 1 5 4 と整列している。図 2 に示すように、孔フィーチャ 1 5 0 はウェハ 1 2 0 の表面に対し垂直でない。この孔フィーチャのスキュー（据じれ）方向は、ウェハ 1 2 0 のスクライブライン 1 5 4 の方向に対し、ある角度 OA をなしている。同様に、この孔フィーチャのスキュー方向は、ウェハ 1 2 0 に固定された XY 座標系の X 方向に対し、ある姿勢角 OA をなしている。

【 0 0 4 6 】

図 3 に、図 1 に示した孔フィーチャ 1 5 0 のスキュー方向に沿った断面 $A - A$ を示す。具体的には、図 3 には、ウェハ 1 2 0 の表面直下にある頂部層又は層シーケンス 1 2 0 A が示されている。図 3 に示すように、孔フィーチャ 1 5 0 はウェハ 1 2 0 の表面法線に対し角度 TA に傾斜している。図 2 及び図 3 に示す例では、その非対称孔フィーチャ 1 5 0 が 2 個の非対称性パラメタ、即ち姿勢角 OA 及び傾斜角 TA により記述される。

【 0 0 4 7 】

図 4 に、図 1 に示した孔フィーチャ 1 5 0 のスキュー方向に沿った断面 $A - A$ を示す。具体的には、図 4 には、ウェハ 1 2 0 の表面直下にある頂部層又は層シーケンス 1 2 0 A と、層（群）1 2 0 A 直下にある埋込層又は層シーケンス 1 2 0 B とが示されている。図 4 に示すように、孔セクション 1 5 0 はウェハ 1 2 0 の表面法線に対し角度 TA_1 に傾斜しており、孔セクション 1 5 2 はウェハ 1 2 0 の表面法線に対し角度 TA_2 に傾斜している。加えて、孔セクション 1 5 2 は、孔セクション 1 5 0 に対し横方向に（即ちウェハ 1 2 0 の表面に対し平行な方向に）、オーバーレイオフセット OL に亘り偏倚している。図 4 に示す例では、これら非対称孔セクション 1 5 0 及び 1 5 2 が 4 個の非対称性パラメタ、即ち姿勢角 OA 、傾斜角 TA_1 及び TA_2 並びにオーバーレイオフセット OL により記述される。

【 0 0 4 8 】

傾斜孔セクション 1 5 0 及び 1 5 2 は非限定的な例として提示されている。一般に、非対称フィーチャを呈しうる構造は多種多様である。更に、同じ非対称フィーチャを別々の非対称性パラメタ集合により記述してもよい。ある例によれば、非対称孔フィーチャが、その孔が楕円形であることによってもパラメタ化されうる。

【 0 0 4 9 】

更なる態様では、注目構造のスペクトル計測が二通り以上の相異なるアジマス角にて実行される。本願記載の如く、その注目構造の非対称フィーチャを特徴付ける 1 個又は複数個の幾何パラメタを推定するのに、それによりもたらされる計測結果を用いることができる。ある好適実施形態では、互いに直交する二通りのアジマス角にてスペクトル計測が実行される。複数の直交計測の組合せにより、注目構造の非対称フィーチャ及びその非対称フィーチャがそれ沿いに存する軸を特徴付ける幾何パラメタの、精密推定が可能となる。例えば、その非対称フィーチャがある計測の入射平面沿いに存している場合、それに直交する計測はその非対称性に対し敏感になる。

【 0 0 5 0 】

図 1 に示したように、 Z 軸はウェハ 1 2 0 の表面に対し垂直に向いている。 X 軸及び Y 軸はウェハ 1 2 0 の表面と同一面内にあり、従って Z 軸に対しては垂直である。同様に、 X' 軸及び Y' 軸はウェハ 1 2 0 の表面と同一面内にあり、従って Z 軸に対しては垂直である。それら X' 軸及び Y' 軸は、 X 軸及び Y 軸に対しアジマス角 AZ 分だけ回ったところにある。このアジマス角によって、ウェハ 1 2 0 に対する光送給方向が Z 軸周りで特定される。照明光 1 1 7 のビームの主光線 1 1 8 と、集光光 1 2 7 のビームの主光線 1 2 1 とにより、入射平面が定まる。 X' 軸はその入射平面と整列し Y' 軸はその入射平面に対し直交している。このように、入射平面は $X'Z$ 平面内に存している。照明光 1 1 7 のビームは、 Z 軸に対しある入射角 をなしてウェハ 1 2 0 の表面上に入射しており、入射平面内に存している。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

一般に、計測下ウェハに対する非対称フィーチャの向きは、アプリアリにはわからない。複数通りのアジマス角にて計測することで、それら計測のうち少なくとも1回が非対称フィーチャに対し確と有感になる。加えて、相直交する二通りのアジマス角にて計測を実行することで、非対称軸を正確に判別しうる蓋然性が高まる。これは、例えば、第1群計測の入射平面に対する非対称フィーチャの姿勢角を計測し、第2群計測に係る第2の入射平面に対するその非対称フィーチャの姿勢角を計測することにより達成される。それら2回の計測に係る入射平面の姿勢がウェハを基準として判明しているため、そのウェハに対する非対称フィーチャの姿勢角が両計測から直に決定される。多くの計測シナリオでは、ウェハに対する姿勢角の独立な推定値が両計測によって提供される。しかしながら、シナリオによっては、個別計測の入射平面に対しその非対称フィーチャが整列してしまい、その計測がその非対称性に対し有感とならないことがある。そうしたシナリオでは、それに直交する計測がそれと同じ非対称フィーチャに対し最敏感となり、ひいてはそのウェハに対するその非対称フィーチャの姿勢角についての最も高信頼な推定値がもたらされる。

10

【 0 0 5 2 】

一般に、相異なる複数通りのアジマス角にて計測すると、利用できる信号情報が増えて非対称フィーチャの計測正確度が高まる。即ち、本願で提示した例では相直交する二通りの角度での計測に触れているが、一般には、何通りであれ相異なるアジマス角での計測を採用することで、本願記載の方法に従い計測正確度を高めることができる。

20

【 0 0 5 3 】

更なる態様では、それぞれミューラー行列の1個又は複数個の非対角要素に係る1個又は複数個のスペクトル応答指標が、そのミューラー行列のその1個又は複数個の非対角要素に係る計測スペクトルを積分することで決定される。スペクトル応答指標は、非対称性によるスペクトル応答のスカラー指標である。それら計測スペクトルに亘る積分によりノイズが減り、そのミューラー行列要素又はミューラー行列要素組合せに係る信号強度が高まる。

【 0 0 5 4 】

ある例では、等式(4)に示すように、ミューラー行列要素 M_{30} に係るスペクトルが波長により積分される。

【 数 3 】

30

$$SRM_{M_{30}} = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} (M_{30}) d\lambda \quad (4)$$

【 0 0 5 5 】

幾つかの例では、この積分が、そのミューラー行列の複数個の要素の和について実行される。等式(5)に、ミューラー行列要素 M_{20} 及び M_{02} の和に係るスペクトルを積分することで決定されたスペクトル応答指標を示す。

【 数 4 】

40

$$SRM_{M_{02}+M_{20}} = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} (M_{02} + M_{20}) d\lambda \quad (5)$$

【 0 0 5 6 】

ある好適実施形態では、非対称性欠如時にその和 $M_{02} + M_{20}$ が0に等しくなるため、非対角ミューラー行列要素 M_{02} 及び M_{20} の和がスペクトル応答指標として採用される。そのため、非対称性のものさしが0に対する $SRM_{M_{02} + M_{20}}$ の偏差により表される。同様に、ある好適実施形態では、非対称性欠如時に M_{30} が0に等しくなるため、非対角ミューラー行列要素 M_{30} がスペクトル応答指標として採用される。そのため、非対称性

50

のものさしが 0 に対する $SRMM_{30}$ の偏差により表される。別の好適実施形態では、本願記載の如く、注目構造の非対称フィーチャを記述する 1 個又は複数個の幾何パラメタの値を推定すべく、スペクトル応答指標 $SRMM_{02} + M_{20}$ 、 $SRMM_{30}$ 双方が採用される。

【0057】

本願では M_{30} に基づくスペクトル応答指標及び和 $(M_{02} + M_{20})$ に基づくそれを具体的に述べているが、一般に、好適であればどのようなミューラー行列要素又はミューラー行列要素組合せに基づくスペクトル応答指標であれ、本件特許出願の技術的範囲内であると考えられよう。例えば、スペクトル応答指標を M_{03} 、和 $(M_{12} + M_{21})$ 等々に基づき決定してもよい。

【0058】

別の態様では、そのミューラー行列の 1 個又は複数個の非対角要素に係るスペクトルが 1 個又は複数個のサブ波長域へと細分される。更に、そのミューラー行列のその 1 個又は複数個の非対角要素に係るスペクトルを、その 1 個又は複数個のサブ波長域に亘り積分することで、スペクトル応答指標が決定される。幾つかの例では、利用可能な計測スペクトルの選定部分に基づきスペクトル応答指標を決定することで、その非対称フィーチャを記述するパラメタ（群）に対する、そのスペクトル応答指標の感度を向上させる。これは、その非対称フィーチャに対し最高感度を呈する波長を強調し、積分によりランダムノイズの影響を解消することによって、達成される。

【0059】

図 5 に、和 $(M_{02} + M_{20})$ に係る例証的なスペクトル応答 153 を示す。図 5 に示すように、信号応答のスペクトルのうちかなりの部分が、計測のノイズフロア内にあり、そのスペクトルの他の諸部分は、計測のノイズフロアをかなり上回る信号応答を呈している。ある例によれば、そのスペクトルのうち所定閾値 T を上回る諸部分をそのスペクトルから選定することで、ノイズフロアを上回る信号応答を識別することができる。図示例では、サブ波長域 12 及び 34 が利用可能なスペクトルから選定されている。更に、和 $(M_{02} + M_{20})$ に係るスペクトル応答指標が、等式 (6) に示すようにそれら選定されたサブ域のみに亘りその和 $(M_{02} + M_{20})$ を積分することで決定される。

【数 5】

$$SRM = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (M_{02} + M_{20}) d\lambda + \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} (M_{02} + M_{20}) d\lambda \quad (6)$$

【0060】

図 2 及び図 3 に示した例では、傾斜孔 150 の非対称性が傾斜角 TA 及び姿勢角 OA により特徴付けられる。加えて、その傾斜孔が、その孔フィーチャの非対称性を記述しない他の限界寸法、例えばその孔の高さ H やその孔の直径 CD によっても特徴付けられる。姿勢角 OA は、図 1 に示した X 軸の正方向を基準として定義されている。即ち、姿勢角が 0 であれば、その非対称フィーチャは X 軸の正方向に沿いスキューしている。同様に、姿勢角が 90° であれば、その非対称フィーチャは Y 軸の正方向に沿いスキューしている。傾斜角 TA は、その孔の中心軸がウェハに対し垂直なとき（即ち無スキュー時）に 0 になるよう定義されている。

【0061】

ある例では、計量システム 100 を用い、傾斜孔 150 の分光計測が相直交する二通りのアジマス角にて実行される。ある回の計測では、照明光の入射平面を、図 1 に示した X 軸に整列させる。別の回の計測では、照明光の入射平面を、図 1 に示した Y 軸に整列させる。

【0062】

両アジマス角にて入手可能な全てのミューラー行列要素に係る計測スペクトル 170 が、情報処理システム 130 により受け取られる。情報処理システム 130 では、それら計測スペクトルに基づき幾つかのスペクトル応答指標が決定される。ある例では、情報処理システム 130 にて、両アジマス角に関し、ミューラー要素 M_{30} 及びミューラー行列要素和 $(M$

10

20

30

40

50

20 + M₀₂) の選定部分の積分により、スペクトル応答指標が決定される。等式 (7) ~ (10) には、順に、180°アジマス角にて計測された (M₂₀ + M₀₂) の利用可能スペクトルを N 個のセグメントに亘り積分すること、180°アジマス角にて計測された M₃₀ の利用可能スペクトルを N 個のセグメントに亘り積分すること、90°アジマス角にて計測された (M₂₀ + M₀₂) の利用可能スペクトルを N 個のセグメントに亘り積分すること、並びに 90°アジマス角にて計測された M₃₀ の利用可能スペクトルを N 個のセグメントに亘り積分すること、で決定されるスペクトル応答指標が示されている。添え字 a はミューラー行列要素和 (M₂₀ + M₀₂) を表しており、添え字 b はミューラー行列要素 M₃₀ を表している。等式 (7) ~ (10) に示したスペクトル応答指標は、それぞれ、利用可能スペクトルを N 個のセグメントに亘り積分することで決定されているが、一般に、積分向けに選定される波長セグメントはスペクトル応答指標毎にユニークであればよい。

10

【数 6】

$$SRM_{a,180} = \sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \int_{\lambda_{i,Min}}^{\lambda_{i,Max}} (M_{20} + M_{02}) d\lambda \quad (7)$$

$$SRM_{b,180} = \sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \int_{\lambda_{i,Min}}^{\lambda_{i,Max}} M_{30} d\lambda \quad (8)$$

$$SRM_{a,90} = \sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \int_{\lambda_{i,Min}}^{\lambda_{i,Max}} (M_{20} + M_{02}) d\lambda \quad (9)$$

20

$$SRM_{b,90} = \sum_{i=1}^{N_{\lambda}} \int_{\lambda_{i,Min}}^{\lambda_{i,Max}} M_{30} d\lambda \quad (10)$$

【0063】

また、情報処理システム 130 では、利用可能ミューラー行列要素の何らかの組合せとのモデル依拠スペクトルマッチングによって、孔高さ H、孔直径 CD、孔傾斜角 TA 及び姿勢角 OA の値が推定される。これまで論じてきた通り、モデル依拠スペクトルマッチングからは H 及び CD の高信頼推定が見込まれるが、TA 及び OA の推定値は通常は不正確となる。

30

【0064】

情報処理システム 130 では、等式 (7) ~ (10) を参照して述べたスペクトル応答指標と、スペクトルマッチングにより推定された CD 及び H の値と、に基づき、TA 及び OA の値が推定される。

【0065】

幾つかの例では、TA 及び OA の値を推定すべく爾後採用される訓練済線形モデルが情報処理システム 130 により生成される。

【0066】

40

想定として、スペクトル応答指標 SRM の値が CD、H、TA 及び OA に依存するものとする。一般に、CD 及び H に対する依存性は TA 及び OA に対する依存性に対し独立たりえない。等式 (11) に示す想定によれば、スペクトル応答指標 SRM は CD、H、TA 及び OA に依存するものの、CD 及び H に依存する関数 g と TA 及び OA に依存する関数 h との組合せとしてその依存性を表現することができる。

$$SRM(CD, \text{高さ}, TA, OA) = g(CD, \text{高さ}) \cdot h(TA, OA) \quad (11)$$

【0067】

想定として、等式 (12) ~ (13) に示すように、個々の光軸に沿った傾斜角 TA の tangent に関数 h が正比例するものとする。

$$h_{90}(TA, OA) = \cos(OA) \cdot \text{高さ} \cdot \tan(TA) \quad (12)$$

50

$$h_{180}(TA, OA) = \sin(OA) \cdot \text{高さ} \cdot \tan(TA) \quad (13)$$

【0068】

想定上、関数 g は TA 及び OA に対し無感であるので、この関数についての考察を、関数 h についての考察から実質的に分離することができる。加えて、発明者が発見したところによれば、関数 g は、4 個のスペクトル応答指標 $SRM_{a, 180}$ 、 $SRM_{b, 180}$ 、 $SRM_{a, 90}$ 及び $SRM_{b, 90}$ の何れに関してもほぼ同じとなる。

【0069】

関数 h と注目パラメタ OA 及び TA との間の関係は、 CD 及び H の公称値に関し決定するものの、その関係は任意の CD 及び H に関しては成り立たない。この問題に対処べく、情報処理システム 130 では、線形最小自乗回帰を実行することで、 CD 及び H の一般値に係るスペクトル応答指標 SRM が、 CD 及び H の既知公称値に係る正規化スペクトル応答指標 SRM' 、即ち等式 (14) に示す SRM' に対しマッピングされる。

$$SRM' = SRM(CD_{Nom}, H_{Nom}, TA, OA) = g(CD_{Nom}, H_{Nom}) \cdot h(TA, OA) \quad (14)$$

【0070】

スペクトル応答指標 SRM は、等式 (15) に示すように、正規化因子 $g(CD, H) / g(CD_{Nom}, H_{Nom})$ により正規化スペクトル応答指標 SRM' に関連付けされる。 $SRM(CD, H, TA, OA) = SRM'(TA, OA) \cdot g(CD, H) / g(CD_{Nom}, H_{Nom})$ (15)

【0071】

TA 及び OA が公称的非自明値である場合、情報処理システム 130 では、相異なる N 通りの CD 値及び相異なる M 通りの H 値を有する孔フィーチャの計測に係る多数のスペクトル応答指標 SRM と、 CD 及び H が指定公称値である孔フィーチャの計測に係る一組のスペクトル応答指標とが生成される。

【0072】

等式 (16) に示す未知の係数 (C_0, \dots, C_N) 及び (D_0, \dots, D_M) を、線形最小自乗回帰を用い解明することで、正規化因子 $g(CD, H) / g(CD_{Nom}, H_{Nom})$ に係るモデルに到達することができる。

【数 7】

$$\begin{bmatrix} 1 & CD & \dots & CD^N & H & \dots & H^M \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_0 \\ \vdots \\ C_N \\ D_1 \\ \vdots \\ D_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} SRM(CD, H, TA_{Nom}, OA_{Nom}) \\ \vdots \\ SRM(CD_{Nom}, H_{Nom}, TA_{Nom}, OA_{Nom}) \end{bmatrix} = \frac{g(CD, H)}{g(CD_{Nom}, H_{Nom})} \quad (16)$$

【0073】

CD 及び H が公称値である場合、情報処理システム 130 では、 TA 及び OA の変動値に係る多数の正規化スペクトル応答指標 SRM' が生成される。

【0074】

等式 (17) に示す未知の係数 A_1 及び A_2 が、線形最小自乗回帰を用い解明される。

【数 8】

$$\begin{bmatrix} SRM'^2_{a,180} + SRM'^2_{a,90} & SRM'^2_{b,180} + SRM'^2_{b,90} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [H \cdot \tan(TA)]^2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (17)$$

【0075】

等式 (18) に示す未知の係数 B_1 及び B_2 も、線形最小自乗回帰を用い解明される。

【数 9】

$$\begin{bmatrix} \text{SRM}'_{a,180} & \text{SRM}'_{b,180} \\ \text{SRM}'_{a,90} & \text{SRM}'_{b,90} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\text{OA}) \cdot H \cdot \tan(\text{TA}) \\ \cos(\text{OA}) \cdot H \cdot \tan(\text{TA}) \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (18)$$

【 0 0 7 6 】

等式 (1 1) ~ (1 8) の結果を結合させることで、注目非対称性パラメタ O A 及び T A を非対称構造の計測で導出されたスペクトル応答指標に関連付ける、訓練済線形モデルに到達することができる。こうして得られる訓練済線形モデルに係る値が等式 (1 9) ~ (2 1) に示されている。

【 数 1 0 】

$$\text{SRM}'_{(a,b),(90,180)} = \frac{\text{SRM}_{(a,b),(90,180)}(\text{CD}, \text{H}, \text{TA}, \text{OA})}{C_0 + C_1 \cdot \text{CD} + \dots + C_N \cdot \text{CD}^N + D_1 \cdot \text{H} + \dots + D_M \cdot \text{H}^M} \quad (19)$$

$$\text{TA} = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{A_1 \cdot (\text{SRM}'_{a,180}^2 + \text{SRM}'_{a,90}^2) + A_2 \cdot (\text{SRM}'_{b,180}^2 + \text{SRM}'_{b,90}^2)}}{H} \right) \quad (20)$$

$$\text{OA} = \text{atan2}(B_1 \cdot \text{SRM}'_{a,180} + B_2 \cdot \text{SRM}'_{b,180}, B_1 \cdot \text{SRM}'_{a,90} + B_2 \cdot \text{SRM}'_{b,90}) \quad (21)$$

【 0 0 7 7 】

図 6 はシミュレーション結果のプロット 1 5 5 を示す図であり、そのシミュレーションに係る実傾斜角 1 5 6 と、等式 (1 1) ~ (2 1) を参照し述べた訓練済線形モデルを用いた傾斜角 1 5 7 の回帰値と、の間の比較が描かれている。図 7 はシミュレーション結果のプロット 1 6 0 を示す図であり、同じシミュレーションに係る実姿勢角 1 6 1 と、等式 (1 1) ~ (2 1) を参照し述べた訓練済線形モデルを用いた姿勢角 1 6 2 の回帰値と、の間の比較が描かれている。この例では、傾斜孔フィーチャの C D 及び H を 5 % の範囲に亘りランダムに変化させており、その傾斜角が 0 ° から 0 . 5 ° まで、姿勢角が 0 ° から 3 6 0 ° まで変化している。シミュレーションによる計測信号がランダムなガウシアンノイズと共に注入されており、単一のサブ波長域がスペクトル応答指標の決定に用いられている。図 6 に示すように、傾斜角の推定値は実傾斜角値によく追従している。同様に、図 7 に示すように、姿勢角の推定値は実姿勢角値によく追従している。

【 0 0 7 8 】

幾つかの例では、T A 及び O A の値を推定すべく爾後採用される訓練済ニューラルネットワークモデルが情報処理システム 1 3 0 にて生成される。

【 0 0 7 9 】

幾つかの例では、上述のスペクトル応答指標及び高信頼回帰限界寸法を、計測下非対称フィーチャを特徴付ける 1 個又は複数個の幾何パラメタの値に対しマッピングすべく、ニューラルネットワークモデルが訓練される。

【 0 0 8 0 】

ある例では、等式 (7) ~ (1 0) を参照して述べた 4 個のスペクトル応答指標、即ち S R M_{a, 180}、S R M_{b, 180}、S R M_{a, 90} 及び S R M_{b, 90} と、C D 及び高さの高信頼回帰値とが、ニューラルネットワークモデルの訓練入力に組み込まれる。訓練出力は正規化因子 $g(CD, H) / g(CD_{NOM}, H_{NOM})$ を含むものとなる。幾つかの例では、その訓練済ニューラルネットワークにより決定された正規化因子を用い、上述の線形最小自乗回帰が採用される。

【 0 0 8 1 】

ある例では、2 個の隠れ層を有し 2 0 個のニューロンを備えるニューラルネットワークが

、正規化因子 $g(CD, H) / g(CDNOM, HNOM)$ を予測しうるように訓練される。図 6 及び図 7 を参照して述べたそれと同じ要領で、CD、高さ、TA 及び OA のランダム変動値に係る合成スペクトルから入力データが生成される。その訓練データにおける単一のランダムプロファイルから公称の CD 及び高さが選択される。その訓練済ニューラルネットワークにより決定された正規化因子を用い、上述の線形最小自乗回帰が採用される。

【 0 0 8 2 】

図 8 はシミュレーション結果のプロット 1 6 5 を示す図であり、三角形参照マークで以て示される実傾斜角と、正方形参照マークで以て示される回帰傾斜角値と、の間の比較が描かれている。その実値・回帰値間相違がプロットライン 1 6 6 により描かれている。この例では、傾斜角の実値・回帰値間相違の 3 値（即ち標準偏差の 3 倍）が 0 . 0 0 2 9 8 となっている。

10

【 0 0 8 3 】

図 9 はシミュレーション結果のプロット 1 7 5 を示す図であり、三角形参照マークで以て示される実姿勢角と、正方形参照マークで以て示される回帰姿勢角値と、の間の比較が描かれている。その実値・回帰値間相違がプロットライン 1 7 6 により描かれている。この例では、姿勢角の実値・回帰値間相違の 3 値（即ち標準偏差の 3 倍）が 0 . 1 9 0 0 0 となっている。

【 0 0 8 4 】

また別の例では、線形回帰を用い非対称性パラメタの値を推定するのに代えて、正規化因子及び計測入力に基づき TA 及び OA を決定するよう更に別のニューラルネットワークモデルが訓練される。

20

【 0 0 8 5 】

また別の例では、等式 (7) ~ (1 0) を参照して述べた 4 個のスペクトル応答指標、即ち $SRM_{a, 180}$ 、 $SRM_{b, 180}$ 、 $SRM_{a, 90}$ 及び $SRM_{b, 90}$ と、CD 及び高さの高信頼回帰値とが、ニューラルネットワークモデルの訓練入力に組み込まれる。その訓練出力は、対応値の TA 及び OA を含むものとなる。

【 0 0 8 6 】

図 1 0 は、4 個のスペクトル応答指標と CD 及び高さの高信頼回帰値とから TA 及び OA を直に推定する訓練済ニューラルネットワークモデルを採用している、シミュレーション結果のプロット 1 8 0 を示す図である。図 1 0 には、三角形参照マークで以て示される実傾斜角と、正方形参照マークで以て示される回帰傾斜角値と、の間の比較が描かれている。その実値・回帰値間相違がプロットライン 1 8 1 により描かれている。この例では、傾斜角の実値・回帰値間相違の 3 値（即ち標準偏差の 3 倍）が 0 . 0 0 7 8 3 となっている。

30

【 0 0 8 7 】

更に別の例では、等式 (7) ~ (1 0) を参照して述べた 4 個のスペクトル応答指標がニューラルネットワークモデルの訓練入力に組み込まれるが、CD 及び高さの高信頼回帰値は組み込まれない。その訓練出力は、対応値の TA 及び OA を含むものとなる。この手法を検証するシミュレーションの結果が示すところによれば、傾斜角の実値・回帰値間相違の 3 値は 0 . 1 8 0 0 0、即ち上述の手法ほど効果的ではないものとなる。

40

【 0 0 8 8 】

一般に、注目構造の非対称フィーチャを記述する 1 個又は複数個の幾何パラメタの値を本願記載の如く決定する方法は、反復的要領で適用するのが効果的である。幾つかの例では、それら非対称性パラメタの推定値をスペクトルマッチング分析へとフィードフォワードすることで、一通り又は複数通りの限界寸法のより秀逸な推定値へと到達させる。それら、より秀逸な限界寸法推定値を用いることで、スペクトル応答指標を更新すること、ひいてはより秀逸な非対称パラメタ推定値を生成することができる。この反復は、非対称性パラメタの値が収束するまで継続される。それら非対称性パラメタの推定値がメモリ（例、メモリ 1 3 2）内にセーブされる。

50

【 0 0 8 9 】

ある実施形態では、相異なる非対角ミューラー行列要素又はミューラー行列要素組合せ（例、 M_{30} 及び和 $(M_{20} + M_{02})$ ）にそれぞれ基づき、相異なる複数個のスペクトル応答指標が決定される。更なる態様では、例えば各スペクトル応答指標を相異なる定数で以てスケールリングすることで、相異なるスペクトル応答指標が別様に加重される。このようにして、特定の非対称性パラメタに対しより敏感なスペクトル応答指標が、当該特定の非対称性パラメタに対しさほど敏感でないスペクトル応答指標に比べより重く加重される。

【 0 0 9 0 】

図 1 2 には、少なくとも 1 個の新規態様に従い非対称パラメタの分光計測を実行する方法 2 0 0 が描かれている。方法 2 0 0 は計量システム、例えば本願の図 1 に描かれている計量システム 1 0 0 による実施に適している。ある態様によれば、ご認識頂けるように、予めプログラミングされているアルゴリズムを情報処理システム 1 3 0 その他、何らかの汎用情報処理システムに備わる 1 個又は複数個のプロセッサにより実行することで、方法 2 0 0 の諸データ処理ブロックを実行することができる。本願での認識によれば、計量システム 1 0 0 の具体的構造的態様は、限定を表すものではなく、専ら例証として解されるべきである。

10

【 0 0 9 1 】

ブロック 2 0 1 では、半導体ウェハ上に作成された注目構造が、一群の広帯域光学輻射で以て、二通り以上の相異なるアジマス角それぞれにて照明される。

【 0 0 9 2 】

ブロック 2 0 2 では、それら二通り以上のアジマス角それぞれにて半導体ウェハが照明されるのに応じ、その半導体ウェハから一群の計測光が検出される。

20

【 0 0 9 3 】

ブロック 2 0 3 では、検出された一群の計測光それぞれに基づき、それら二通り以上のアジマス角それぞれにてもたらされる照明に対する注目構造の計測スペクトル応答が判別される。ミューラー行列の複数個の要素に係るスペクトルが各計測スペクトル応答に含まれる。

【 0 0 9 4 】

ブロック 2 0 4 では、それら二通り以上のアジマス角に係る計測スペクトル応答群に対するモデル化スペクトル応答の当て嵌めを踏まえ、1 個又は複数個の限界寸法パラメタの値が推定される。

30

【 0 0 9 5 】

ブロック 2 0 5 では、各計測スペクトル応答に係るミューラー行列の 1 個又は複数個の非対角要素について、少なくとも 1 個のスペクトルの 1 個又は複数個のサブ波長域が選定される。

【 0 0 9 6 】

ブロック 2 0 6 では、そのミューラー行列の 1 個又は複数個の非対角要素の前記少なくとも 1 個のスペクトルを、選定された 1 個又は複数個のサブ波長域に亘り積分することで、1 個又は複数個のスペクトル応答指標が生成される。

【 0 0 9 7 】

ブロック 2 0 7 では、その注目構造の非対称フィーチャを記述する 1 個又は複数個の幾何パラメタの値が、それら 1 個又は複数個の限界寸法パラメタの値及び 1 個又は複数個のスペクトル応答指標に基づき推定される。

40

【 0 0 9 8 】

本願記載の如く構成されうる計測技術の例としては、これに限られるものではないが、分光エリプソメトリ (SE)、その例たるミューラー行列エリプソメトリ (MMSE)、回転偏光子 SE (RPSE)、回転偏光子回転補償器 SE (RPRC)、回転補償器 SE (RCRC)、分光リフレクトメトリ (SR)、その例たる偏向 SR、無偏向 SR、分光スキヤタロメトリ、スキヤタロメトリオーバレイ、ビームプロファイルリフレクトメトリ、ビーム角分解及び偏向分解ビームプロファイルエリプソメトリ、単一又は複数離散波長エリプソメトリ等々がある。一般に、どのような計量技術であれ、その計測信号中に広範な角

50

度情報が含まれるものは、個別に又は何らかの組合せで考慮されうる。例えば、画像依拠計量技術を初め、どのようなSR又はSE技術であれ半導体構造の特徴付けに適用可能なものは、個別に又は何らかの組合せで考慮されうる。

【0099】

更なる実施形態では、システム100に備わる1個又は複数個の情報処理システム130を用い、収集された分光計測データに基づく実デバイス構造の計測が本願記載の方法に従い実行される。当該1個又は複数個の情報処理システム130をスペクトロメータに可通信結合してもよい。ある態様では、当該1個又は複数個の情報処理システム130が、試料120の構造の計測に係る計測データ170を受け取るように構成される。

【0100】

認識されるべきことに、本件開示の随所に記載されている1個又は複数個のステップを、単一のコンピュータシステム130により実行してもよいし、それに代え複数個のコンピュータシステム130により実行してもよい。更に、システム100に備わる様々なサブシステムが、本願記載の諸ステップのうち少なくとも一部を実行するのに適したコンピュータシステムを有していてもよい。従って、上掲の記述は本発明についての限定としてではなく、単なる例証として解されるべきである。

【0101】

加えて、そのコンピュータシステム130を、スペクトロメータに対し、本件技術分野で既知な何れの要領で可通信結合させてもよい。例えば、前記1個又は複数個の情報処理システム130をそれらスペクトロメータに係る情報処理システムに結合させてもよい。また例えば、コンピュータシステム130に結合された単一のコンピュータシステムにより、それらスペクトロメータを直に制御してもよい。

【0102】

計量システム100のコンピュータシステム130は伝送媒体、例えば有線及び/又は無線区間を含むそれによって、同システムの諸サブシステム(例、スペクトロメータ等)からデータ又は情報を受領及び/又は獲得するよう、構成されうる。こうすることで、その伝送媒体を、そのコンピュータシステム130と、システム100の他サブシステムと、の間でデータリンクとして働かせるとよい。

【0103】

計量システム100のコンピュータシステム130は伝送媒体、例えば有線及び/又は無線区間を含むそれによって、他システムからデータ又は情報(例、計測結果、モデル化入力、モデル化結果、参照計測結果等々)を受領及び/又は獲得するよう、構成されうる。こうすることで、その伝送媒体を、そのコンピュータシステム130と、他システム(例、計量システム100のオンボードメモリ、外部メモリ又はその他の外部システム)と、の間でデータリンクとして働かせるとよい。例えば、データリンクを介し格納媒体(即ちメモリ132又は外部メモリ)から計測データを受け取るよう、その情報処理システム130を構成するのがよい。例えば、本願記載のスペクトロメータを用い得られた分光結果を恒久的又は半恒久的記憶デバイス(例、メモリ132又は外部メモリ)に格納してもよい。この構成では、それら分光結果がオンボードメモリから、或いは外部メモリシステムからインポートされうる。更に、そのコンピュータシステム130が伝送媒体を介し他システムにデータを送るようにしてもよい。例えば、コンピュータシステム130により決定された推定パラメタ値171や計測モデルを送信し外部メモリ内に格納させてもよい。この構成では、計測結果が他システムへとエクスポートされうる。

【0104】

情報処理システム130には、これに限られるものではないが、パーソナルコンピュータシステム、メインフレームコンピュータシステム、ワークステーション、イメージコンピュータ、並列プロセッサその他、本件技術分野で既知なあらゆるデバイスが包含されうる。一般に、語「情報処理システム」は、記憶媒体からくる命令を実行するプロセッサを1個又は複数個するデバイス全てが包括されるよう、広義に定義されうる。

【0105】

10

20

30

40

50

方法例えば本願記載のそれらを実現するプログラム命令134を、伝送媒体例えばワイヤ、ケーブル又は無線伝送リンク上で伝送させてもよい。例えば、図1に描かれているように、メモリ132内に格納されているプログラム命令134がプロセッサ131へとバス133上で伝送される。プログラム命令134はコンピュータ可読媒体(例、メモリ132)内に格納される。コンピュータ可読媒体の例としてはリードオンリメモリ、ランダムアクセスメモリ、磁気ディスク、光ディスク、磁気テープ等がある。

【0106】

幾つかの例では、本願記載の計測モデルが、米国カリフォルニア州ミルピタス所在のKLA-Tencor Corporationから入手可能なSpectraShape(商標)光学限界寸法計量システムの一要素として実現される。この形態では、同システムによりスペクトルが収集された直後の使用に備えモデルが生成及び準備される。

10

【0107】

他の幾つかの例では、本願記載の計測モデルが、例えば、米国カリフォルニア州ミルピタス所在のKLA-Tencor Corporationから入手可能なAcuShape(登録商標)ソフトウェアを実行する情報処理システムにより、オフライン実現される。もたらされる訓練済モデルをAcuShape(登録商標)ライブラリの一要素として組み込み、計測を実行する計量システムによりそれにアクセス可能とすればよい。

【0108】

別の態様では、本願記載の半導体デバイス分光計量方法及びシステムが、高アスペクト比(HAR)構造、大横寸法構造又はその双方に備わる非対称フィーチャの計測に適用される。記載されている諸実施形態によれば、様々な半導体製造業者例えばSamsung Inc.(韓国)、SK Hynix Inc.(韓国)、株式会社東芝(日本)及びMicron Technology, Inc.(米国)等々により製造された、三次元NAND構造例えば垂直NAND(V-NAND;登録商標)構造、ダイナミックランダムアクセスメモリ構造(DRAM)等々を初め、半導体デバイスに備わる非対称フィーチャの計測を行うことができる。図11に、非対称フィーチャ欠陥が含まれうる高アスペクト比NAND構造の例190を示す。広帯域能及び広範なアジマス角を有する分光エリプソメータが、こうした高アスペクト比構造の計測に適している。HAR構造は、HAR向けエッチングプロセスを容易にすべくハードマスク層を有していることが多い。本願記載の語「HAR構造」は、10:1を上回り100:1以上にもなりうるアスペクト比により特徴付けられる構造全てを指している。

20

30

【0109】

更に他の態様では、本願記載の計測結果が能動フィードバックとして製造プロセスツール(例、リソグラフィツール、エッチングツール、堆積ツール等々)に提供される。例えば、本願記載の計測方法に依拠して決定された計測パラメタの値がリソグラフィツールに送られ、所望の出力(即ち非対称性誤差低減等々)が達成されるようそのリソグラフィシステムが調整される。同じ要領で、エッチングパラメタ(例、エッチング時間、拡散率等々)や堆積パラメタ(例、時間、濃度等々)が、エッチングツール又は堆積ツールそれぞれへの計測パラメタの能動フィードバックに依拠し調整される。幾つかの例では、計測された非対称パラメタに基づき決定されたプロセスパラメタに対する補正が、リソグラフィツール、エッチングツール、堆積ツール等々へと送信される。これに応じ製造ツールではその半導体製造プロセスの制御パラメタが調整され、ひいては計測された非対称性により特徴付けられる構造欠陥が低減される。

40

【0110】

本願記載の語「限界寸法」には、構造のあらゆる限界寸法(例、下部限界寸法、中部限界寸法、上部限界寸法、サイドウォール角(側壁角)、格子高等々)、任意の2個以上の構造間の限界寸法(例、2個の構造間の距離)、並びに2個以上の構造間のずれ(例、重なり合う格子構造間のオーバーレイ変位等々)が包含される。構造には三次元構造、パターン化構造、オーバーレイ構造等々が含まれうる。

【0111】

50

本願記載の語「限界寸法アプリケーション」又は「限界寸法計測アプリケーション」にはあらゆる限界寸法計測が含まれる。

【0112】

本願記載の語「計量システム」には、限界寸法計量、オーバーレイ計量、焦点/照射量計量及び組成計量等の計測アプリケーションを初め、何らかの態様で試料を特徴付けるため少なくとも部分的に採用される、あらゆるシステムが含まれる。とはいえ、そうした技術用語で本願記載の語「計量システム」の技術的範囲が制限されるわけではない。加えて、その計量システム100を、パターン化ウェハの計測向けに構成しても、及び/又は、無パターンウェハの計測向けに構成してもよい。その計量システムを、LED検査ツール、エッジ検査ツール、背面検査ツール、マクロ検査ツール又はマルチモード検査ツール(1個又は複数個のプラットフォームから同時にデータがもたらされるもの)として構成してもよいし、限界寸法データに基づくシステムパラメタの校正から利を受ける他のどのような計量又は検査ツールとして構成してもよい。

10

【0113】

本願では、何らかの半導体処理ツール(例、検査システムやリソグラフィシステム)内で試料を計測するのに用いる半導体計測システムに関し、様々な実施形態が述べられている。本願で用いられている語「試料」は、本件技術分野で既知な手段で処理(例、印刷又は欠陥検査)されうるウェハ、レティクルその他の標本のことを指している。

【0114】

本願で用いられている語「ウェハ」は、総じて、半導体又は非半導体素材で形成された基板のことを指している。その例としては、これに限られるものではないが、単結晶シリコン、砒化ガリウム及び燐化インジウムがある。そうした基板は、半導体製造設備にて広く見いだされ及び/又は処理されうる。場合によっては、ウェハが基板のみで構成されることがある(即ちベアウェハ)。これとは違い、ウェハが基板上に形成された1個又は複数個の異種素材層を有していることもある。ウェハ上に形成された1個又は複数個の層が「パターン化」されていることも「無パターン」なこともある。例えば、ウェハが複数個のダイを有し、そのダイが可反復パターンフィーチャを有していることがある。

20

【0115】

「レティクル」は、レティクル製造プロセスの何れの段階にあるレティクルでも、或いは完成品のレティクルでもよく、半導体製造設備での使用向けにリリースされていてもいなくてもよい。レティクル或いは「マスク」は、概して、実質的に不透明な領域がその上に形成されパターンをなしている実質的に透明な基板として、定義される。基板には、例えばアモルファスSiO₂等のガラス素材を含有するものがある。リソグラフィプロセスのうち露出工程中に、レジスト被覆ウェハの上方にレティクルを配置して、そのレティクル上のパターンをそのレジストへと転写することができる。

30

【0116】

ウェハ上に形成された1個又は複数個の層が、パターン化されていても無パターンであってもよい。例えば、ウェハ内に複数個のダイがあり、各ダイが可反復パターンフィーチャを有していることがある。そうした素材層の形成及び処理により、やがてはデバイス完成品が得られるであろう。多様な種類のデバイスをウェハ上に形成しうるところ、本願で用いられている語ウェハの意図は、その種類を問わず本件技術分野で既知なデバイスがその上に作成されるウェハを包括することにある。

40

【0117】

1個又は複数個の例示的实施形態では、本願記載の諸機能が、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア又はそれらの何らかの組合せで実現されよう。ソフトウェアでの実現時には、それら機能が1個又は複数個の命令又はコードとしてコンピュータ可読媒体上に格納され又はその上で伝送されよう。コンピュータ可読媒体にはコンピュータ格納媒体及び通信媒体の両者があり、これにはコンピュータプログラムをある場所から別の場所へと運ぶのに便利なあらゆる媒体が含まれる。格納媒体は、汎用又は専用コンピュータによりアクセス可能な何れの入手可能媒体であってもよい。例えば、これに限られるものでは

50

ないが、そうしたコンピュータ可読媒体を、RAM、ROM、EEPROM、CD-ROMその他の光ディスクストレージ、磁気ディスクストレージその他の磁気格納デバイス、或いは他の何らかの媒体であり、それを用い命令又はデータ構造の形態にて所望のプログラムコード手段を搬送又は格納することができ、且つ汎用又は専用コンピュータ或いは汎用又は専用プロセッサによりアクセスしうるものによって、構成することができる。また、どのような接続であれコンピュータ可読媒体と称して差し支えない。例えば、そのソフトウェアがウェブサイト、サーバその他のリモートソースから同軸ケーブル、光ファイバケーブル、撚り線対、デジタル加入者線(DSL)或いは無線テクノロジー例えば赤外線、無線周波数及びマイクロ波を用い送信される場合、その同軸ケーブル、光ファイバケーブル、撚り線対、DSL或いは無線テクノロジー例えば赤外線、無線周波数及びマイクロ波は媒体の定義内に包含される。本願で用いられるディスク、即ちデータが通常は磁氣的に再生されるディスク(disk)及びデータがレーザで以て光学的に再生されるディスク(disc)には、コンパクトディスク(CD)、レーザディスク、光ディスク、デジタルバーサタイルディスク(DVD;登録商標)、フロッピーディスク及びブルーレイディスク(登録商標)が包含される。上掲のものの組合せもまたコンピュータ可読媒体の範囲内とされるべきである。

10

【0118】

教示目的である種の具体的実施形態を上述したが、本件特許出願による教示には一般的な適用可能性があり、上述の具体的諸実施形態に限定されるものではない。従って、別項の特許請求の範囲に記されている発明の技術的範囲から離隔することなく、記述されている諸実施形態の諸特徴について、様々な修正、適合化及び組合せを行うことができる。

20

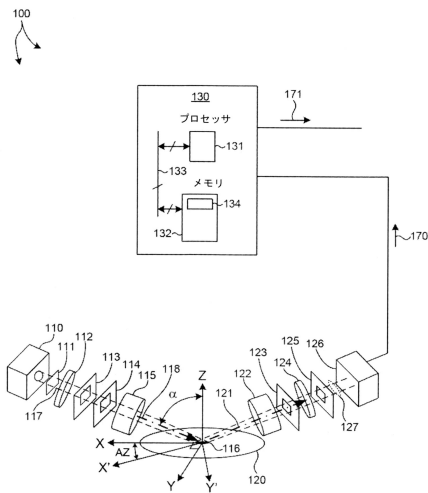
30

40

50

【図面】

【図 1】



【図 2】

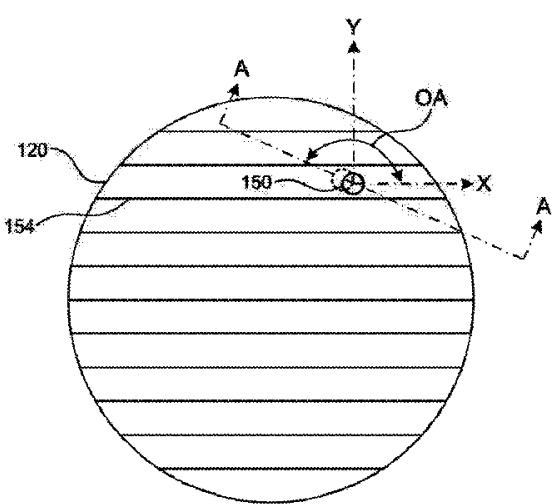


FIG. 2

【図 3】

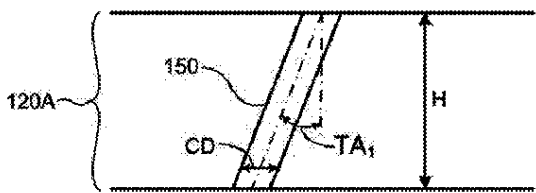


FIG. 3

【図 4】

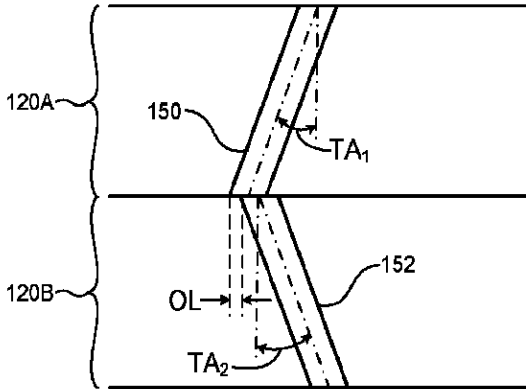


FIG. 4

10

20

30

40

50

【図 5】

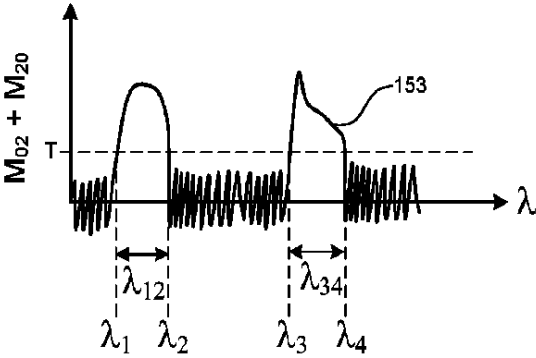
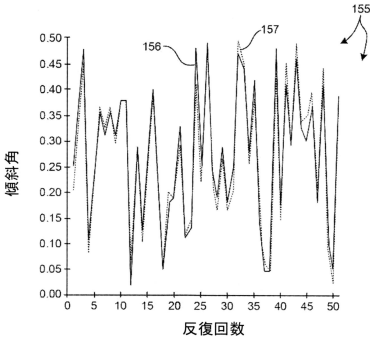


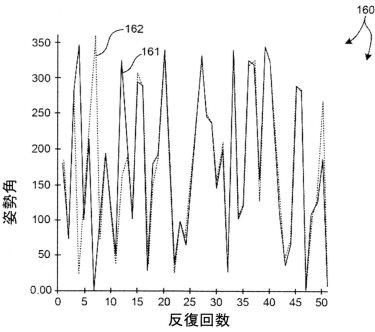
FIG. 5

【図 6】

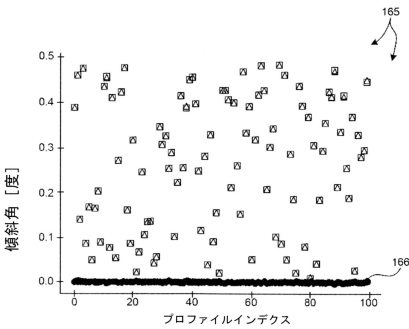


10

【図 7】



【図 8】



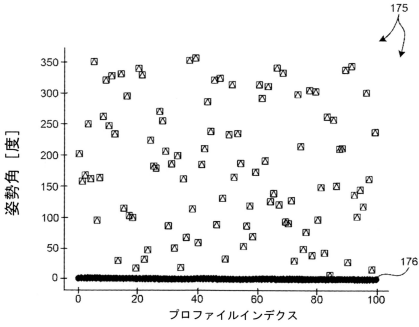
20

30

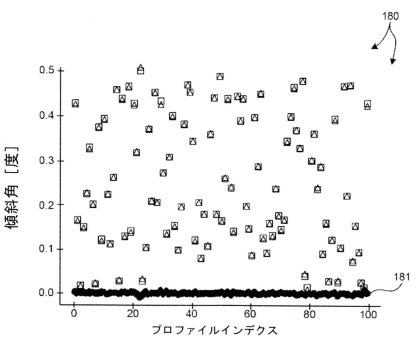
40

50

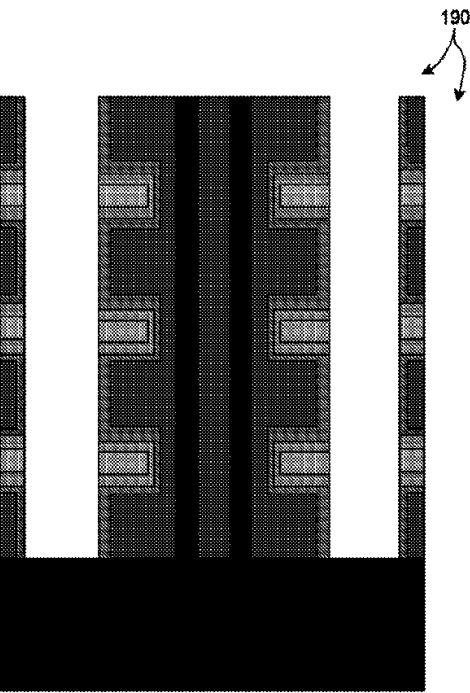
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

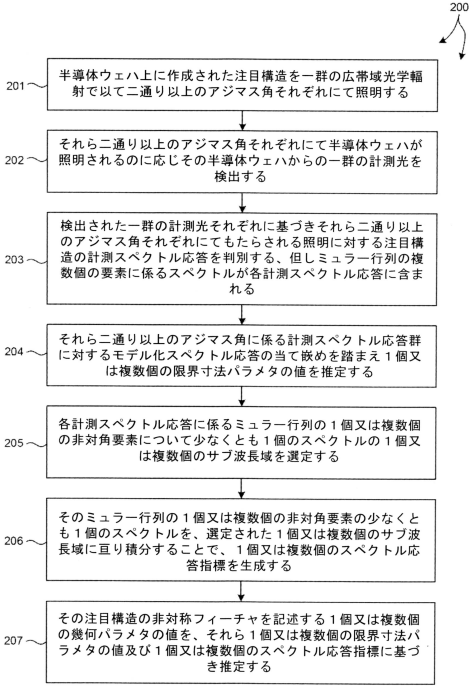


FIG. 11

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

早期審査対象出願
ント パークメドウ ドライブ 4 4 6 5 9

審査官 小池 英敏
(56)参考文献 米国特許第 0 9 4 7 0 6 3 9 (U S , B 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 0 8 0 5 8 5 (U S , A 1)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 L 2 1 / 6 6
G 0 1 N 2 1 / 9 5 6