

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6830492号
(P6830492)

(45) 発行日 令和3年2月17日 (2021.2.17)

(24) 登録日 令和3年1月28日 (2021.1.28)

(51) Int. Cl. F I
H O 1 L 21/66 (2006.01) H O 1 L 21/66 J

請求項の数 19 (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2018-534503 (P2018-534503)	(73) 特許権者	500049141
(86) (22) 出願日	平成28年9月22日 (2016.9.22)		ケーエルエー コーポレーション
(65) 公表番号	特表2018-535560 (P2018-535560A)		アメリカ合衆国 カリフォルニア ミルピ
(43) 公表日	平成30年11月29日 (2018.11.29)		タス ワン テクノロジー ドライブ
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/053136	(74) 代理人	110001210
(87) 国際公開番号	W02017/053581		特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
(87) 国際公開日	平成29年3月30日 (2017.3.30)	(72) 発明者	フ ジョウ
審査請求日	令和1年9月10日 (2019.9.10)		アメリカ合衆国 カリフォルニア サン
(31) 優先権主張番号	62/222, 314		ノゼ グレンムーア ウェイ 1303
(32) 優先日	平成27年9月23日 (2015.9.23)	(72) 発明者	サピエンス ノーム
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		アメリカ合衆国 カリフォルニア クパチ
(31) 優先権主張番号	15/271, 179		ーノ オリーブ ウッド ストリート 1
(32) 優先日	平成28年9月20日 (2016.9.20)		9986 #エイ
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分光ビームプロファイルオーバーレイ計測

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

計測システムであって、

多波長と、二次元ビーム強度断面を有する照明光のビームを供給するように構成された多波長照明源と、

前記照明光のビームを再成形して、その結果、照明光の再成形されたビームが一次元であり長さ寸法によって特徴付けられるビーム強度断面を有するように構成されたビーム成形素子と、

照明光の再成形ビームを受け取って、オーバーレイ計測ターゲットを、照明光の再成形ビームで入射角の範囲にわたり照明し、その結果、照明光の再成形ビームの長さ寸法がオーバーレイ計測ターゲットに、オーバーレイ計測ターゲットの格子構造の範囲の方向に対して平行な第1の方向に投影されるように構成され、さらに、照明に応答して、オーバーレイ計測ターゲットからの光を収集するように構成された開口数が0.7より大きい高開口数 (NA) 対物レンズと、

第1の二次元検出器の第1の次元に沿った入射角に従って、また、第1の二次元検出器の第2の次元に沿った波長に従って収集光を検出するように構成された第1の二次元検出器と、

を備え、前記収集光は、第1次数回折光、ゼロ次数回折光、またはそれらの組み合わせを含む計測システム。

【請求項 2】

10

20

前記第1の二次元検出器はさらに、前記第1の二次元検出器の各ピクセルで検出された光を示す測定信号を生成するように構成され、測定信号は、一意的な波長と入射角でのオーバーレイ計測ターゲットの測定に関連する、請求項1に記載の計測システム。

【請求項3】

さらに、各ピクセルで検出された光を示す測定信号を受信し、
オーバーレイ計測ターゲットに関連する少なくとも1つのオーバーレイパラメータの値を、測定信号に基づいて決定し、
少なくとも1つのオーバーレイパラメータの値をメモリに記憶する、
ように構成されたコンピューティングシステムを備えた、請求項2に記載の計測システム。

10

【請求項4】

さらに、収集光を受け取り、入射角に従って収集光を伝送し、受け取った収集光を、前記第1の二次元検出器を横断する波長に従って分散するように構成された第1の波長分散素子を備えた、請求項1に記載の計測システム。

【請求項5】

前記収集光は、前記第1の二次元検出器の第1の領域に投影された第1次数回折光と、第1の領域とは別個の前記第1の二次元検出器の第2の領域に投影されたゼロ次数回折光を含む、請求項1に記載の計測システム。

【請求項6】

オーバーレイ計測ターゲットに関連する少なくとも1つのオーバーレイパラメータの値を決定することは、オーバーレイ測定モデルでの測定信号の反復的回帰に基づく、請求項3に記載の計測システム。

20

【請求項7】

オーバーレイ計測ターゲットに関連する少なくとも1つのオーバーレイパラメータの値を決定することは、測定信号と訓練された信号応答計測に基づく、請求項3に記載の計測システム。

【請求項8】

収集光の一部を、第2の二次元検出器の第1の次元に沿った入射角に沿って検出し、収集光の他の一部を、第2の二次元検出器の第2の次元に沿った波長に従って検出するように構成された第2の二次元検出器をさらに備える、

30

請求項1に記載の計測システム。

【請求項9】

前記照明光のビームの経路内に配置された偏光子素子をさらに備えた、請求項1に記載の計測システム。

【請求項10】

収集光の経路内に配置された分析器素子と、
前記照明光のビームの経路、収集光の経路、またはそれら両方に配置された少なくとも1つの補償器素子をさらに備えた、請求項9に記載の計測システム。

【請求項11】

前記ビーム成形成素子は回転式であって、その結果、照明光の再成形ビームが、第2のオーバーレイ計測ターゲット上に、第1の方向に対して垂直な第2の方向に投影され、前記第2の方向は、前記第2のオーバーレイ計測ターゲットの格子構造の範囲の方向に対して平行である、請求項1に記載の計測システム。

40

【請求項12】

測定スポットサイズを縮小するために、多波長照明源とオーバーレイ計測ターゲットの間の照明経路内に配置されたアポダイザ素子をさらに備える、請求項1に記載の計測システム。

【請求項13】

前記多波長照明源とオーバーレイ計測ターゲットの間の照明経路内に選択可能に配置された1以上の波長フィルタリング素子、オーバーレイ計測ターゲットと前記第1の二次元

50

検出器の間の収集経路内に選択可能に配置された1以上の波長フィルタリング素子、またはそれらの組み合わせをさらに備えた、請求項1に記載の計測システム。

【請求項14】

分光ビームプロファイル計測システムであって、

多波長を有する照明光のビームを供給するように構成された広帯域照明源と、

前記照明光のビームを再成形して、その結果、照明光の再成形されたビームが一次元であり長さ寸法によって特徴付けられるビーム強度断面を有するように構成されたビーム成形素子と、

照明光の再成形ビームを受け取って、オーバーレイ計測ターゲットを、照明光の再成形ビームで入射角の範囲にわたり照明し、その結果、照明光の再成形ビームの長さ寸法が、オーバーレイ計測ターゲットに、オーバーレイ計測ターゲットの格子構造の範囲の方向に対して平行な第1の方向に投影されるように構成され、さらに、照明に応答して、オーバーレイ計測ターゲットからの光を収集するように構成された開口数が0.7より大きい高開口数(NA)対物レンズと、

二次元検出器の第1の次元に沿った入射角に従って、また、二次元検出器の第2の次元に沿った波長に従って収集光を検出するように構成された二次元検出器とを備え、前記収集光は、前記二次元検出器の第1の領域にわたり検出される第1次数回折光と、前記第1の領域とは別個の前記二次元検出器の第2の領域にわたり検出されるゼロ次数回折光を含む、

分光ビームプロファイル計測システム。

【請求項15】

さらに、ゼロ次回折光を受け取り、入射角に従ってゼロ次回折光を伝送し、受け取ったゼロ回折光を、前記二次元検出器の第2の次元に沿った波長に従って分散するように構成された波長分散素子を備えた、請求項14に記載の分光ビームプロファイル計測システム。

【請求項16】

多波長を有し二次元であるビーム強度断面を有する照明光のビームを供給し、

前記照明光のビームを再成形して、その結果、照明光の再成形ビームが、一次元であり長さ寸法によって特徴付けられるビーム強度断面を有するようにさせ、

照明光の再成形ビームの長さ寸法が、オーバーレイ計測ターゲットの格子構造の範囲の方向に対して平行な第1の方向にオーバーレイ計測ターゲット上に投影されるように、試験片の表面上のオーバーレイ計測ターゲットを照明光の再成形ビームで入射角の範囲にわたり照明し、

オーバーレイ計測ターゲットの照明に응答して、測定サイトからの光を収集し、

収集光を、二次元検出器の第1の次元に沿った入射角に従って検出し、また、収集光を、前記二次元検出器の第2の次元に沿った波長に従って検出することを含み、前記収集光は、第1次数回折光、ゼロ次数回折光、またはそれらの組み合わせを含む方法。

【請求項17】

さらに、前記二次元検出器の各ピクセルで検出された光を示す測定信号を生成することを含み、前記測定信号は、一意的な波長および入射角でのオーバーレイ計測ターゲットの測定に関連する、請求項16に記載の方法。

【請求項18】

さらに、各ピクセルで検出された光を示す測定信号を受信し、

オーバーレイ計測ターゲットに関連する少なくとも1つのオーバーレイパラメータの値を、前記測定信号に基づいて算定し、

前記少なくとも1つのオーバーレイパラメータの値をメモリに記憶することを含む、請求項17に記載の方法。

【請求項19】

前記収集光は、前記二次元検出器の第1の領域に投影された第1次数回折光と、第1の領域とは別個の前記二次元検出器の第2の領域に投影されたゼロ次数回折光を含む、請求

項 16 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

記載される実施形態は、計測システムおよび方法に関し、より具体的には、半導体製造プロセス、および半導体製造プロセスによって生成される構造を特性評価するパラメータの改善された測定のための方法およびシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

関連出願の相互参照

10

本特許出願は、米国特許法第 119 条の下で、2015 年 9 月 23 日出願の米国仮特許出願第 62/222,314 号、表題「Spectroscopic BPR Method and Apparatus for Overlay Measurement」の優先権を主張するものであり、その主題は、全体の参照により本明細書に組み込まれる。

【0003】

ロジックおよびメモリ装置などの半導体装置は、典型的には、試験片に適用される一連の処理ステップにより製作される。半導体装置の様々なフィーチャおよび多様な構造的レベルは、これらの処理ステップにより形成される。例えば、なかでもリソグラフィは、半導体ウェハ上にパターンを生成することを含む 1 つの半導体製作プロセスである。半導体製作プロセスの追加例として、化学機械研磨、エッチ、堆積、およびイオン注入が挙げられるが、これらに限定されない。多様な半導体装置は、単一の半導体ウェハ上に製作され、次に、個別の半導体装置に分離され得る。

20

【0004】

計測プロセスは、ウェハ上の欠陥を検出してより高い収率を促進するために、半導体の製造プロセスにおける様々なステップで使用される。光学的計測技法は、試料を損壊するリスクなしで高スループットの測定の可能性を提供する。光散乱計測および光反射計測の実装および関連する分析アルゴリズムを含むいくつかの光学的計測に基づく技法が、ナノスケール構造のクリティカルディメンション、膜厚、組成およびその他のパラメータを特性評価するために一般に用いられる。

30

【0005】

一例において、半導体試料の測定を実行するために、二次元ビームプロファイル反射率計 (2D-BPR) システムが用いられる。しかしながら、既存の 2D-BPR システムは、測定信号を一度に一波長で取得する。これは、試料を正確に特性評価するために多数の照明波長が必要とされる場合にそのようなシステムのスループットを制限する。

【0006】

別の例において、分光楕円偏光法 (SE) システムが、照明波長の広域スペクトルにわたる同時測定を実行する。しかしながら、既存の SE システムは、測定信号を一度に入射角 (AOI) で取得する。これは、試料を正確に特性評価するために多様な AOI が必要とされる場合に、そのようなシステムのスループットを制限する。

40

【0007】

別の例において、オーバーレイターゲットの、光学ベースの測定が、ケエルエーテンカー (KLA-Tencor, Inc) によって製造されたオーバーレイ計測ツールによって、光散乱計測オーバーレイ (SCOL) 技術を用いて実行される。既存のツールは、SCOL 信号を一取得につき一波長で取得する。異なる取得それぞれで照明波長を変更するために、制御システムが用いられる。例示的ツールは、多数のダイオードレーザ光源またはチューナブルレーザ光源を用いて照明光を、異なる選択可能な波長で提供する。

【0008】

さらに別の例において、オーバーレイターゲットの光学ベースの測定が、ASML Holding NV によって製造されたオーバーレイ計測ツールによって実行される。こ

50

これらのツールのうちいくつかにおいて、各取得でビーム経路内の光学フィルタを選択することによって、異なる取得それぞれで照明波長を変更するために制御システムが用いられる。

【0009】

これらの例において、オーバーレイターゲットの反射率測定は各波長で個別に取得される。データ取得へのこの逐次の手法は、多様な波長でデータを取得し測定レシピを生成するために必要な時間を増加させる。さらに、照明システムは、照明光を、異なる選択可能な波長で提供するように構成されなければならない、それはシステムの複雑性を増加させる。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】米国特許出願公開第2014/0166862号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

オーバーレイターゲットの測定を包含する計測用途は、益々微小になる分解能への要求とスループットへの要求により課題を提示している。したがって、改良されたオーバーレイ測定のための方法およびシステムが望まれる。

【課題を解決するための手段】

20

【0012】

広範囲の入射角および広範囲の波長にわたり収集された光を同時に検出するための方法およびシステムが本明細書で提示される。

【0013】

一態様において、分光ビームプロファイル計測システムは、多波長を有するコリメート光ビームを放射する光源を含む。ビーム成形光学素子は、コリメート光ビームをナローラインビーム光（例えば、シート状の断面の）に再成形する。ナローライン形状の照明光ビームは、ナローラインビーム光を広範囲の入射角にわたりオーバーレイ計測ターゲットに投影する高開口数（NA）対物レンズを通過する。ナローライン形状の光ビームは、ライン形状ビームの方向が、オーバーレイ計測ターゲットの格子構造の範囲の方向と揃うようにオーバーレイ計測ターゲット上に投影される。オーバーレイ計測ターゲットとの相互作用の後で、収集された光は、AOIに従って一方向に、また、波長に従って別方向に、検出器にわたり分散される。こうして、二次元検出器は、角度信号情報（例えば、入射角）とスペクトル情報の両方を同時に検出する。こうして、各検出器ピクセルでの測定信号は、特定のAOIおよび波長と関連付けられる。

30

【0014】

いくつかの例では、照明された測定サイトから第1回折次数（例えば、+1と-1）で回折された光が収集される。いくつかの例では、照明された測定サイトからゼロ回折次数で回折された光が収集される。いくつかの他の例では、ゼロ次数と第1次数の回折光の両方が収集される。これらの例において、第1次数の回折光とゼロ次数の回折光は、検出器の別々の領域にわたって検出される。

40

【0015】

さらなる態様において、波長（すなわち、エネルギー）分散素子が、ビーム経路内に検出器以前に配置されている。波長分散素子は、測定光の収集ビームを波長に従って二次元検出器に分散する。いくつかの例において、波長分散素子は、ゼロ次数回折光のみに作用する。しかしながら、いくつかの他の例では、波長分散素子は第1次数の回折光に作用して、オーバーレイ計測ターゲット自体との相互作用から派生した任意の波長分散効果を増強する。

【0016】

もう1つのさらなる態様において、信号を同時または逐次検出するために、収集経路内

50

に2以上の検出器が用いられる。各検出器ペアは異なる波長範囲を検出するように構成される。これは、単一の検出器および波長分散素子では全波長範囲にわたり十分な精度で測定できない広い波長範囲にわたる測定のために有益であり得る。

【0017】

別のさらなる態様において、オーバーレイターゲットは、ナローライン形状の照明ビームをオーバーレイターゲットに対して90度回転させることによって2つの直交する方向で測定される。波長分散素子が用いられる場合、波長分散素子も、検出器に投影されるときに波長分散の方向を90度回転させるために、回転または他の方式で移動または置換される。

【0018】

もう1つのさらなる態様において、選択可能な照明アパーチャと選択可能な収集アパーチャは、異なるターゲットの測定を可能にするように構成される。

【0019】

さらなる態様において、分光ビームプロファイル計測システムは、オーバーレイ測定の確度と精度を改善するために、取得波長と入射角のサブセットを選択するように構成される。適正な波長とAOI範囲は、プロセス変動によりサイト毎に変わり得る。

【0020】

もう1つのさらなる態様において、オーバーレイ測定の確度と精度を改善するために、分光ビームプロファイル計測システムは、取得波長と入射角を重み付けするように構成される。従来、信号の選択と重み付けはAOIのみに基づくものであったが、本明細書の記載では、信号選択と重み付けは、同時に収集されたAOIと波長データの両方に基づく。

【0021】

もう1つのさらなる態様において、訓練された(t r a i n d)SRM(信号応答計測)モデルまたはSPI(単一のパラメータアイソレーション)モデルが、オーバーレイ値を決定するために、取得された測定信号に適用される。SRMおよびSPIモデルは、オーバーレイ基準データに基づいて訓練される。

【0022】

もう1つのさらなる態様において、空間光変調器(SLM)が、照明経路、収集経路、またはその両方に配置されている。SLMは、透過波面エラーを低減してビームの振幅と位相分布を成形するために、照明光の経路、収集光の経路、または両経路にわたり、振幅、位相分布、またはそれら両方を変調するように構成される。さらなる態様において、空間光変調器は、照明ビームにわたる位相分布のプログラム可能な構成を可能にする。これは、収差を補正、またはコンタミネーション信号を相殺するために用いられ得る。いくつかの実施形態において、SLMは変形可能なミラーアレイである。

【0023】

もう1つのさらなる態様において、照明経路内に、対物レンズ以前に偏光素子が配置されている。いくつかの実施形態において、定置型偏光子が用いられる。これらの実施形態において、2つの異なる偏光成分が別個の検出器によって検出されてよい。いくつかの他の実施形態において、連続回転偏光子が実装される。これらの実施形態において、分析器素子が、収集経路内に、対物レンズ以降に配置される。

【0024】

もう1つのさらなる態様において、1つの補償器が照明経路内に偏光子以降に追加され、もう1つの補償器が、収集経路内に分析器以前に配置される。

【0025】

もう1つのさらなる態様において、ビーム成形光学素子が照明経路内に配置される。ビーム成形光学素子は、ナローラインビーム照明を所望の方位角に回転させるように構成される。ナローラインビーム照明をビーム軸周りに回転させることによって、有効方位角が変更される。

【0026】

もう1つのさらなる態様において、分光BPRシステムは、瞳面のマッピングを可能に

10

20

30

40

50

するために、A O I 方向に沿って照明ビームを走査するように構成される。さらなる態様において、この瞳走査機構は、ターゲットノイズの平均化、コヒーレンス効果の減少および改良された確度を可能にするためにフィールド面を走査する第2の走査機構で補完されてもよい。

【0027】

もう1つのさらなる態様において、分光BPRシステムは、共通の経路と収集経路内にビーム成形光学素子を含む。このようにして、ビーム形状は対物レンズおよび任意の波長分散素子に入射する前にのみナローライン形状となる。

【0028】

もう1つのさらなる態様において、分光BPRシステムは、2つの波長分散素子と2つの対応する検出器を含む。一方の検出器は、被測定試験片の瞳測定を実行するように構成される。他方の検出器は、同じ試験片のフィールド測定を実行するように構成される。

【0029】

いくつかの実施形態において、フィールド測定信号と瞳測定信号の両方が同時に検出される。検出される信号は反復的に処理されて1以上の構造的またはプロセスパラメータ値を概算する。より具体的には、少なくとも1つの測定ターゲットに関連する少なくとも1つの構造的またはプロセスパラメータの値は、瞳測定モデルでの瞳測定信号の反復的回帰と、フィールド測定モデルでのフィールド測定信号の回帰に基づいて決定される。

【0030】

いくつかの実施形態において、フィールド測定信号と瞳測定信号の両方が、1以上の構造的またはプロセスパラメータ値を概算するために複合分析で処理される。これらの例において、測定モデルは、瞳測定とフィールド測定両方のために、計測ターゲット（複数可）の構造的パラメータ、材料パラメータ、または構造的パラメータと材料パラメータの組み合わせをリンクする複合測定モデルである。

【0031】

もう1つのさらなる態様において、分光BPRシステムは、測定経路内に対物レンズ以前にビーム結合素子を含む。オートフォーカスプローブビーム、パターン認識プローブビーム、または両者の組み合わせが、対物レンズに入射する前に照明ビームと結合され、オートフォーカス信号ビーム、パターン認識信号ビーム、または両者の組み合わせが、対物レンズから出射する前に収集ビームから抽出される。

【0032】

別の態様において、分光ビームプロファイル計測システムのスペクトル成分を検出するために、ハイパースペクトル検出器が用いられる。

【0033】

上記は要約であり、したがって、簡略化、一般化、および詳細の省略を必然的に含む。結果として、当業者は、要約が単なる説明上のものであり、何らかの形で限定するものではないことを理解するであろう。本明細書に記載される装置および／またはプロセスの他の態様、発明上の特徴、ならびに利点は、本明細書で説明される非限定的な詳細な記述で明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】試験片の特徴を、本明細書で提示される例示的方法に従って測定するための分光ビームプロファイル計測システム100の一実施形態を示す図である。

【図2】試験片の特徴を、本明細書で提示される例示的方法に従って測定するための分光ビームプロファイル計測システム200の別の実施形態を示す図である。

【図3】試験片の特徴を、本明細書で提示される例示的方法に従って測定するための分光ビームプロファイル計測システム300の別の実施形態を示す図である。

【図4】試験片の特徴を、本明細書で提示される例示的方法に従って測定するための分光ビームプロファイル計測システム400の別の実施形態を示す図である。

【図5】試験片の特徴を、本明細書で提示される例示的方法に従って測定するための分光

10

20

30

40

50

ビームプロファイル計測システム500の別の実施形態を示す図である。

【図6】試験片の特徴を、本明細書で提示される例示的方法に従って測定するための分光ビームプロファイル計測システム600の別の実施形態を示す図である。

【図7A】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおいてビーム結合素子として用いられる二つ折りミラー150を描写する図である。

【図7B】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおいてビーム結合素子として用いられる二つ折りミラー150を描写する図である。

【図7C】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおいてビーム結合素子として用いられる二つ折りミラー150を描写する図である。

【図7D】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおいてビーム結合素子として用いられる4セル折り畳みミラー155を描写する図である。

10

【図7E】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおいてビーム結合素子として用いられる4セル折り畳みミラー155を描写する図である。

【図7F】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおいてビーム結合素子として用いられる4セル折り畳みミラー155を描写する図である。

【図8A】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおいてビーム結合素子として用いられるナローライン形状ミラー160を描写する図である。

【図8B】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおいてビーム結合素子として用いられるナローライン形状ミラー160を描写する図である。

【図8C】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおいてビーム結合素子として用いられるナローライン形状ミラー160を描写する図である。

20

【図8D】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおけるビーム結合素子としての十字型ナローミラー165を描写する図である。

【図8E】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおけるビーム結合素子としての十字型ナローミラー165を描写する図である。

【図8F】本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムにおけるビーム結合素子としての十字型ナローミラー165を描写する図である。

【図9A】3つの例示的測定要素それぞれに関する照明および収集アパーチャ選択を描写する図である。

【図9B】3つの例示的測定要素それぞれに関する照明および収集アパーチャ選択を描写する図である。

30

【図9C】3つの例示的測定要素それぞれに関する照明および収集アパーチャ選択を描写する図である。

【図10A】3つの異なる方位角選択それぞれに関連するビーム強度プロファイルを描写する図である。

【図10B】3つの異なる方位角選択それぞれに関連するビーム強度プロファイルを描写する図である。

【図10C】3つの異なる方位角選択それぞれに関連するビーム強度プロファイルを描写する図である。

【図11A】2つの異なる方位角選択および1つのAOI選択に関連するビーム強度プロファイルを描写する図である。

40

【図11B】2つの異なる方位角選択および1つのAOI選択に関連するビーム強度プロファイルを描写する図である。

【図12A】試料からゼロ次数回折光を収集するようにAOI範囲を限定する、2つの異なる照明アポダイザおよび収集アパーチャ選択に関連するビーム強度プロファイルを描写する図である。

【図12B】試料からゼロ次数回折光を収集するようにAOI範囲を限定する、2つの異なる照明アポダイザおよび収集アパーチャ選択に関連するビーム強度プロファイルを描写する図である。

【図13】照明経路に配置された走査ミラー143の配向の変化による分光BPRシステ

50

ムにおけるビーム強度プロファイルのシフトを示す図である。

【図14】試験片上に配置された例示的4セルオーバーレイターゲット210を示す図である。

【図15】ナローライン形状照明ビームによってx方向に照明されたオーバーレイ計測ターゲットのセルを描写する図である。

【図16】入射角に従って1つの方向に、また、波長に従ってもう1つの方向に分散された入射第1次数回折光を描写する図である。

【図17】入射角に従って1つの方向に、また、波長に従ってもう1つの方向に分散されたゼロ次数回折光を描写する図である。

【図18】入射角に従って1つの方向に、また、波長に従ってもう1つの方向に分散された入射ゼロ次数回折光および第1次数回折光を描写する図である。

10

【図19】ナローライン形状照明ビームによってy方向に照明されたオーバーレイ計測ターゲットのセルを描写する図である。

【図20】入射角に従って1つの方向に、また、波長に従ってもう1つの方向に分散された入射第1次数回折光を描写する図である。

【図21】入射角に従って1つの方向に、また、波長に従ってもう1つの方向に分散されたゼロ次数回折光を描写する図である。

【図22】図15でそれぞれ説明された計測システム100, 200, 300, 400および500等の分光ビームプロファイル計測システムによる実装に適した方法700を説明するフローチャートである。

20

【発明を実施するための形態】

【0035】

ここで本発明の背景例およびいくつかの実施形態が詳細に参照され、それらの実施例は付属の図面で説明される。

【0036】

分光ビームプロファイル計測でのオーバーレイ測定のための方法およびシステムが本明細書で提示される。分光ビームプロファイル計測システムのいくつかの実施形態は、説明の目的で本明細書に提示されている。これらの実施形態において、オーバーレイ測定信号は、広い波長範囲と広い入射角範囲にわたり同時に検出される。オーバーレイ信号を広い波長範囲と入射角で同時に取得することによって、特定の測定用途それぞれに関して最適な波長およびAOI範囲が迅速に特定され得る。それに加えて、1以上の広帯域照明源が、一定範囲の波長にわたり同時に照明を提供するために用いられ得る。

30

【0037】

格子測定は、オーバーレイの測定に特に関係する。オーバーレイ計測の目的は、異なるリソグラフィの露光ステップ間のシフトを決定することである。オーバーレイ計測をオンデバイスで実行することは、オンデバイス構造の小さいサイズ故に、また、典型的には、小さいオーバーレイ値故に困難である。

【0038】

例えば、典型的なスクライブラインオーバーレイ計測ターゲットのピッチは、200ナノメートルから2000ナノメートルまで変動し得る。しかし、オンデバイスのオーバーレイ計測構造のピッチは典型的には100ナノメートル以下である。それに加えて、公称製造環境において、デバイスオーバーレイは、装置構造の周期性の極く一部に過ぎない。対照的に、光散乱計測オーバーレイで用いられるプロキシ計測構造は、オーバーレイに対する信号感度を増強するために、多くの場合例えばピッチの四分の一等のより大きな値で偏位している。本明細書に記載される方法およびシステムは、オーバーレイに感応する測定信号を、オンデバイス構造、プロキシ構造、またはその両方に基づいて取得するために用いられ得る。

40

【0039】

一態様において、分光ビームプロファイル計測システムは、コリメートされた光ビームを多波長で放射する光源を含む。ビーム成形光学素子は、コリメートされた光ビームを、

50

ナローラインビーム光をオーバーレイ計測ターゲットの表面に投影する高開口数（NA）対物レンズを通過するナローラインビーム光（例えば、シート状断面の）に再成形する。ナロー光ビームは、被測定オーバーレイ計測ターゲットの格子方向に、広範囲の入射角にわたって揃う。

【0040】

いくつかの例において、分光ビームプロファイル計測システムは、分光ビームプロファイル反射率計（BPR）システムである。これらの例において、各ピクセルで検出される測定信号は、特定のAOIおよび特定の波長に関する反射率信号を表す。

【0041】

図1は、本明細書で提示される例示的方法による、オーバーレイを測定するためのシステム100を説明する。図1に示すように、システム100は、試験片112上に配置されたオーバーレイターゲットの瞳測定を実行するために用いられてよい。瞳測定は、二次元検出器にわたり分散された波長情報とAOI情報の両方を含む。この態様において、システム100は、分光ビームプロファイル反射率計（BPR）として構成されてよい。システム100は、多波長照明源101と、ビーム成形光学素子107と、高開口数（NA）対物レンズ111（例えば、 $NA > 0.7$ ）、波長分散素子117（オプション）、および二次元検出器118を含む。検出器118は、試験片112からAOIの範囲と波長の範囲にわたる反射率信号を同時に取得する。反射率信号135は、オーバーレイ値を概算するためにコンピューティングシステム130によって処理される。

【0042】

図1に描写されるように、システム100は、多波長を有する所定量の照明光119を生成する照明源101を含む。いくつかの実施形態において、照明源101は、アークランプ（例えば、キセノンランプ）、レーザー駆動光源、多波長レーザー、スーパーコンティニウムレーザー等の広帯域照明源である。いくつかの他の実施形態において、照明源101は、多数の単波長レーザー、チューナブルな狭帯域レーザー等の多数の狭帯域光源を組み合わせる。いくつかの実施形態において、照明源101は、広帯域照明源と狭帯域照明源の組み合わせを含む。いくつかの実施形態において、照明源101は、深紫外、紫外、可視、近赤外および赤外スペクトルにわたって光を放射する多数の光源を含む。多数の光源は、1以上のスライド式ミラー、ビームスプリッタ、または任意のその他の適切な構成によって結合されてよい。一般に、照明源101は、照明の任意の組み合わせを含んでよい。一例において、照明源101は、100ナノメートルから2,500ナノメートルの間の波長範囲にわたる1以上の光源を含む。

【0043】

図1に描写されるように、多波長照明光119は、コリメーション光学素子102を通過する。コリメーション光学素子102は多波長照明光119をコリメートする。コリメーション光学素子102は、レンズコンポーネント、ミラーコンポーネントまたは両方の組み合わせを含む。一実施形態において、多波長照明光119は、軸外し放物面ミラー（OAP）によってコリメートされて、コリメートされた円形ビームになる。いくつかの例において、コリメーション光学素子102は、照明NAを調節するように構成される。

【0044】

図1に描写されるように、コリメーション光学素子102によってコリメートされた多波長照明光は1以上のカラーフィルタ103を通過する。カラーフィルタ103は、測定のために、1以上の照明波長（複数可）と、対応する波長範囲（複数可）を選択し、不要な波長を吸収または消散する。1以上のカラーフィルタ103は、1以上の光学フィルタ、1以上のカラーフィルタホイール、1以上のリニア可変エッジフィルタ等を含んでよい。1以上のカラーフィルタ103は、1以上のロングパスフィルタ、ローパスフィルタ、バンドパスフィルタ等を含んでよい。一般に、1つの所与の測定用途に対して適切な1以上の波長範囲を選択することが有益である。

【0045】

図1の描写ではシステム100は1以上のカラーフィルタ103を含むが、いくつかの

他の実施形態において、カラーフィルタは用いられなくてもよい。したがって、一般に、カラーフィルタの使用は任意選択的である。

【0046】

図1に描写されるように、多波長照明光119は、照明経路内に、対物レンズ111以前に配置されたビーム成形光学素子107を透過する。ビーム成形光学素子107は、入射ビームを、ナローライン形状に再成形するように構成される。一般に、多波長照明光119は二次元強度断面を有する。図1に描写されるように、多波長照明ビームは円形の強度断面107Aを有する。ビーム成形光学素子107と相互作用した後で、多波長照明ビームは、ほぼ一次元である（すなわち、実質的に一次元に延在し、垂直な次元には実質的に延在しない）ナローライン強度断面107Bを有する。ビーム成形光学素子107がなければ、照明光ビーム119は、空間的に分離された方位およびAOI成分で試験片112上に投影されることになる。しかしながら、ビーム成形光学素子107によって再成形された後では、AOI成分がライン107Bに沿った方向に保持される一方で、方位成分はライン107Bにわたる方向に畳み込まれて（collapsed）有効に単一の方位値となる。方位情報は失われるが、これは、本明細書において以後さらに詳細に記載される波長情報の検出を可能にする。

10

【0047】

ビーム成形光学素子107は、僅かな光損失をもって多波長照明ビームを円形形状からライン形状に再成形する。こうして、分光BPRシステムは非常に高い光効率を有する。これは、取得時間が非常に短いオーバーレイの測定を可能にする。

20

【0048】

一実施形態において、入射ビームをナローライン形状に成形するために、一对の円筒形ミラーが用いられる。別の実施形態において、入射ビームをナローライン形状に成形するために、円筒形レンズ、空間光変調器（SLM）、回折光学素子、スリット、またはスリット群、2以上の変形可能なミラー、またはその他の適切な素子が用いられる。いくつかの実施形態において、ナローライン形状ビームを試料表面に沿って動かすために、ピエゾ駆動ミラーが照明経路内に配置される。

【0049】

一般に、入射ビームは任意のほぼ一次元形状に成形され得る。ターゲットフィーチャ、システム収差（標準型またはフィールドに依存した）、ウェハ形状等の特定の測定用途因子によって、ドット、弧、曲線または、本明細書に記載される方法およびシステムに則した角度およびスペクトル情報の同時の収集を可能にする任意のその他の適切な形状が想定されてよい。

30

【0050】

ビーム成形光学素子107による再成形後に、ナローライン照明ビームは照明ビームスプリッタ109に向けられる。照明ビームスプリッタ109は、限定はしないが、立方体ビームスプリッタ、金属コーティングプレート、ダイクロイック光学コーティングプレートまたはその他のビーム分割機構を含む任意の適切なビーム分割素子を含んでよい。照明ビームスプリッタ109は、コリメートされたナローライン照明の一部分を対物レンズ111に向け、また、別の部分を強度モニタ110に向ける。いくつかの実施形態において、強度モニタ110はコンピューティングシステム130に通信可能に結合されて、全体的な照明強度、照明強度プロファイルまたはそれら両方をコンピューティングシステム130に供給する。対物レンズ111は、コリメートされたナローライン照明を、試験片112の表面に、広範囲の入射角にわたって向ける。試験片112の表面から反射、回折、散乱された光は、対物レンズ111によって収集される。

40

【0051】

好ましい実施形態において、対物レンズ111は、本明細書に記載される分光BPRシステムによって潜在的に用いられる波長の範囲に適合するために、反射型光学表面のみを含む。いくつかの例において、反射対物レンズが用いられる。そのような対物レンズは高NA（例えば、 $NA > 0.9$ ）が可能である。

50

【0052】

いくつかの実施形態において、対物レンズ111の設計は実質的に一次元ビーム向けに最適化されてよいが、それは、図1に記載されたように、対物レンズ111に入射する照明ビームの強度断面が実質的に一次元である（例えば、ナローライン形状）からである。

【0053】

いくつかの実施形態において、1つの可動ステージ（例えば、電動対物レンズタレットまたは電動リニア対物レンズチェンジャー）上に多数の対物レンズが配置されている。このようにして、特定の対物レンズの選択は、例えば、コンピューティングシステム130によってプログラム可能に制御されてよい。このようにして、異なる対物レンズが、異なる測定用途に対する最適な波長範囲とNA範囲を提供するために利用可能となり得る。

10

【0054】

一般に、高NA対物レンズ111は、反射（すなわち、全反射型表面）、反射屈折（すなわち、反射型と屈折表面両方の組み合わせ）または屈折光学（すなわち、全屈折表面）であってよい。

【0055】

図14は、試験片112上に配置された例示的4セルオーバーレイターゲット210を説明する。オーバーレイターゲット210は、4セル211A-Dを含む。各セルは、一つの次元において別の格子構造から偏位した格子構造を含む。2つの格子構造は、既知のプログラムされた偏位と、一方向への未知のオーバーレイ偏位分、互いから偏位した名目上同じ構造である。例えば、セル211Aは、x方向に、プログラムされた偏位 f_x だけ、また、未知のオーバーレイ偏位 $OV L_x$ だけ互いから偏位した2つの格子構造を含む。同様に、セル211Dは、x方向に、反対側に、プログラムされた偏位 $-f_x$ だけ、また、同方向に、未知のオーバーレイ偏位 $OV L_x$ だけ互いから偏位した2つの格子構造を含む。セル211Aおよび211Dから収集された測定データを比較することにより、プログラムされた偏位の効果が相殺され、x方向における未知のオーバーレイ値を露呈する。

20

【0056】

同様に、セル211Bは、y方向にプログラムされた偏位 f_y だけ、また、未知のオーバーレイ偏位 $OV L_y$ だけ互いから偏位した2つの格子構造を含む。同様に、セル211Cは、y方向に、反対側に、プログラムされた偏位 $-f_y$ だけ、また、同方向に、未知のオーバーレイ偏位 $OV L_y$ だけ互いから偏位した2つの格子構造を含む。セル211Bおよび211Cから収集された測定データを比較することにより、プログラムされた偏位の効果が相殺され、y方向における未知のオーバーレイ値を露呈する。

30

【0057】

一態様において、ナローライン形状の照明光ビームは、ナローライン形状ビームの方向が、特定の被測定計測ターゲットの格子方向と揃うように、計測ターゲット上に投影される。

【0058】

図15は、ビーム成形光学素子107によって生成されて、対物レンズ111によってセル211C上に投影されるナローライン形状ビーム215によって照明されるセル211Cを描写する。図15に描写されるように、ナローライン形状ビーム215は試験片112の表面で対物レンズ瞳216内にあり、セル211Cの格子構造の範囲の方向（すなわち、x方向）に対して平行な方向に延在する。例えば、格子構造はx方向に延在する周期的なラインアンドスペースを含んでよい。

40

【0059】

図1に描写されるように、対物レンズ111によって収集された光は、瞳検出経路を介して二次元検出器118に向けられる。いくつかの実施形態において、検出器118は二次元電荷結合素子（2D-CCD）である。いくつかの他の実施形態において、検出器118は二次元または三次元相補的金属酸化物半導体（CMOS）センサである。一般に、検出器118は、二次元のアレイになった、個別にアドレス可能なピクセルまたはその他の光学的感応素子を有する任意の検出器であってよい。このようにして、AOIと波長情

50

報の両方が個別にシステム 100 によって分解される。

【0060】

図 1 に描写された実施形態において、瞳検出経路は、収集光を波長分散素子 117 に向ける瞳リレー光学素子 116 を含む。波長分散素子 117 は収集光を二次元検出器 118 の一つの次元にわたり、波長に従って分散させる。波長分散素子 117 は、二次元検出器 118 の表面上の波長分散の方向が、AOI による収集光の分散の方向に対して垂直になるように配向される。このようにして、二次元検出器は角度信号情報（例えば、入射角）とスペクトル情報の両方を同時に検出する。

【0061】

一実施形態において、検出器 118 の一つの次元は、ナローラインビームの投影の方向に揃っている。この次元において（すなわち、ラインビーム方向に対して平行な方向）、ナローラインビームは入射角（AOI）の関数として検出器 118 上に分散される。波長分散素子 117 は、波長分散の方向が、ナローラインビームに対して垂直となるように配向される。こうして、ナローラインビームは、二次元検出器の第 2 の、直交する次元に、波長の関数として検出器上に分散される。その結果、検出器 118 の各ピクセルで検出される測定信号は、特定の AOI と特定の波長に関する光散乱計測信号を表す。

10

【0062】

反射格子は、広い波長範囲には好ましい。格子密度は、測定用途のための波長分解能を達成するために選択される。例えば、紫外線スペクトルにおいて高い波長分解能が必要とされる場合、高密度反射格子またはプリズムが好まれる。一般に、波長分散素子 117 は、少なくとも 1 つの湾曲回折格子、平面回折格子、ホログラフィープレート、プリズムまたは、収集光を波長に従って空間的に分散するために適切な任意のその他の素子を含んでよい。

20

【0063】

いくつかの実施形態において、オーバーレイターゲット自体が、入射光を波長（すなわち、エネルギー）に従って分散し、分散光は、波長分散素子 117 を用いずに、分光ビームプロファイル計測システム 100 の二次元検出器 118 によって収集され検出される。一実施形態において、検出器の 1 つの次元はラインビーム方向に揃っている。この次元において（すなわち、ラインビーム方向に対して平行な方向）、ナローラインビームは検出器上に、入射角（AOI）の関数として分散される。二次元検出器の第 2 の直交する次元において、ナローラインビームは、検出器上に波長の関数として分散される。こうして、各ピクセルにおいて検出される測定信号は、特定の AOI および特定の波長に関する光散乱信号を表す。

30

【0064】

別の態様において、オーバーレイターゲットの分光ビームプロファイル測定は、オーバーレイターゲットから、0 回折次数、+1 および -1 回折次数、またはそれらの組み合わせで回折された検出光に基づいて実行される。

【0065】

ほとんどのオーバーレイ測定ターゲット（例えば、SCOL ターゲット）は二次元格子構造として設計されているため、オーバーレイターゲット自体が分光 BPR システム 100 の波長分散素子として働く。例えば図 15 に描写されるような、計測ターゲットに入射するナローライン形状ビームはゼロ次数およびより高次数の回折光を生成する。式（1）が満たされると、より高次数のビームが高 NA 対物レンズ 111 によって収集される。式（1）に関して、NA は対物レンズの開口数であり、m は回折次数の数であり、λ は照明波長であり、d はオーバーレイターゲットピッチ値である。

40

$$NA > m\lambda / d \quad (1)$$

【0066】

一例において、対物レンズ 111 の開口数は 0.93 であり、最小照明波長は 400 ナノメートルに選択される。この例において、対物レンズ 111 が +1 および -1 回折次数で回折された光を収集することを確実にするために、オーバーレイターゲットピッチは少

50

なくとも431ナノメートルでなければならない。

【0067】

いくつかの実施形態において、SCOLターゲットの分光ビームプロファイル測定は、第1次数回折光（例えば、+1および-1回折次数）に基づく。これらの実施形態のうちいくつかにおいて、SCOLターゲットは分散素子として働き、+1および-1回折次数信号が、入射角（AOI）および波長ドメインの両方におけるオーバーレイ情報を同時に記録する二次元検出器によって取得される。一般に、+1/-1回折次数に基づく光オーバーレイ測定が、20ナノメートル半導体製作ノード向けのピッチデザインルールに囚われない比較的大きなピッチ値（例えば、400ナノメートルを超える）を有するSCOLターゲットに適切である。

10

【0068】

図15を参照して説明したように、オーバーレイターゲット210のセル211Cの格子ラインは、ウェハ表面上に投影される照明ラインに対して平行である。図16は、検出器118の光検出面220を描写する。図16には、検出器での対物レンズ瞳領域の投影についても説明されている。図16に描写されるように、オーバーレイターゲットから反射された+/-1回折次数信号は、格子ラインに対して垂直な方向に波長分散され、AOIに従って格子ラインに対して平行な方向に分散される。格子ターゲット211Cから対物レンズ瞳領域221の外部に回折された光（すなわち、より大きなAOIおよび波長値）は、対物レンズによって収集されない。

【0069】

20

図16に描写されるように、一例において、大きなピッチの格子（例えば、450ナノメートルを超えるピッチ）が本明細書に記載されるように測定される。検出器で取得された信号は、0度から65度の間のAOIの範囲および360ナノメートルから720ナノメートルの間の波長の範囲にわたる+1次数と-1次数の両方のSCOLセル反射率を含む。さらに、ゼロ次数信号は付加的な波長分散素子によって分散されない。したがって、ゼロ次数信号は、反射光のナローライン形状ビームとして検出器118の表面220上に投影される。

【0070】

図16に描写された実施形態において、ゼロ次数光および+1/-1次数光の両方が検出され、オーバーレイ値を概算するための分析に利用可能となる。しかしながら、いくつかの実施形態において、ゼロ次数光は、検出器118の飽和を防止するためにアパーチャによりブロックされる。これらの実施形態において、+1/-1次数光のみが、オーバーレイ値を概算するための分析に利用可能である。

30

【0071】

いくつかの実施形態において、オーバーレイターゲットの分光ビームプロファイル測定は、収集経路に配置された分散素子によって波長（すなわち、エネルギー）分散されたゼロ次数回折光に基づく。分散されたゼロ次数信号は、オーバーレイ情報を入射角（AOI）と波長ドメインの両方で同時に記録する二次元検出器によって取得される。

【0072】

可視波長光源（例えば、400ナノメートルから800ナノメートル）を用いる場合、+1/-1回折次数で回折された光は、小さい格子ピッチ（例えば、200ナノメートル未満）を有するオーバーレイターゲット向けの実用対物レンズによってはキャプチャされ得ない。したがって、これらの小さいピッチ格子構造に関しては、ゼロ次数光のみが収集される。

40

【0073】

一般に、ゼロ次数の光のみに基づくオーバーレイ測定は、20ナノメートル半導体製作ノードのピッチデザインルールに囚われる小さいピッチ値（例えば、200ナノメートル未満）を有するSCOLターゲットに適切である。

【0074】

これらの例において、波長分散素子117等の波長分散素子が、ライン形状ビームを、

50

ライン形状に対して垂直な方向に分散させるために収集経路内で用いられる。分散光は二次元検出器 118 によって収集される。各ピクセルで検出された信号は、各特定の波長および A O I でのゼロ次数光の反射率を示す。図 17 に描写されるように、ゼロ次数光が、0 度から 65 度の間の入射角の範囲および 360 ナノメートルから 900 ナノメートルの間の波長の範囲にわたり収集される。

【0075】

いくつかの実施形態において、オーバーレイターゲットの分光ビームプロファイル測定は、収集経路に配置された分散素子によって波長（すなわち、エネルギー）分散されたゼロ次数回折光、および第 1 次数回折光（例えば、+1 および -1 回折次数）に基づく。図 18 に描写されるように、オーバーレイターゲット 210 のセル 211 C から反射された +1/-1 回折次数信号は、検出器 118 の表面 220 への、格子ラインの投影方向に対して平行な方向に、A O I に従って分散される。オーバーレイターゲット 210 のセル 211 C から反射された +1/-1 回折次数信号も、A O I の分散方向に対して垂直な方向の波長に従って分散される。さらに、オーバーレイターゲット 210 のセル 211 C からの 0 次数信号は、+1/-1 回折次数信号とは異なる、検出器 118 の表面 220 の領域に投影される。図 19 に描写されるように、オーバーレイターゲット 210 のセル 211 C から反射された 0 回折次数信号は、検出器 118 の表面 220 上に、格子ラインの投影方向に対して平行な方向に、A O I に従って分散される。オーバーレイターゲット 210 のセル 211 C から反射された 0 回折次数信号はさらに、A O I の分散方向に対して垂直な方向の波長に従って分散される。このようにして、ゼロ次数回折光および +1/-1 回折次数光の両方が、オーバーレイ情報を入射角（A O I）と波長ドメインの両方で同時に記録する二次元検出器によって取得される。

【0076】

いくつかの実施形態において、分散されたゼロ次数ビームは検出器の中央部をフィルシ、+1/-1 次数信号を正規化するために用いられる。いくつかの実施形態において、分散された 0 次数ビームは検出器の中央部をフィルシ、S C O L ターゲットのセルの構造的品質を評価するために用いられる。

【0077】

以前に説明したように、分光ビームプロファイル計測システムは、被測定オーバーレイターゲットから回折された光を分散するために、収集経路内に検出器以前に波長（すなわち、エネルギー）分散素子を含んでよい。一般に、波長分散素子は、オーバーレイターゲットから反射された 0 次数ビーム、+1/-1 回折次数ビーム、またはそれらの組み合わせを分散するために分光ビームプロファイル計測システムによって用いられてよい。波長分散素子は、検出される波長の分解能を増加させるために用いられる。いくつかの例において、オーバーレイターゲット自体が +1/-1 回折次数での何らかの波長分散を提供する。しかしながら、これらの例において、ビームが検出器に到達する前に波長に従って信号をさらに分散するために、収集経路内に波長分散素子を用いることが有益であり得る。

【0078】

さらなる態様において、S C O L セルピッチ値に基づいて所望の照明波長範囲を選択するために、ローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、バンドパスフィルタまたは光学フィルタの任意の適切な組み合わせが、分光ビームプロファイル計測システムの照明ビーム経路内に選択可能に配置される。一般に、照明波長範囲は、回折された +1/-1 回折次数信号の十分な波長範囲を確実にして、検出器への異なる回折次数の重複を回避するために選択される。

【0079】

もう 1 つのさらなる態様において、ソーティングフィルタ、ホットミラー、コールドミラーまたは光学フィルタの任意の適切な組み合わせが、検出器への異なる回折次数の重複を回避するために、分光ビームプロファイル計測システムの収集ビーム経路内に選択可能に配置される。

【0080】

いくつかの例において、S C O Lターゲットの格子ピッチは900ナノメートルであり、利用可能な広帯域照明は240ナノメートルから1000ナノメートルの範囲の波長を含む。S C O Lオーバーレイ感度分析に基づき、分光B P R測定データを350ナノメートルから820ナノメートルの間の波長範囲にわたり収集することが望ましい。

【0081】

一例において、350ナノメートルでの二次回折次数ビームが701ナノメートルでの一次回折次数ビームと重複することを避けるために、照明フィルタが用いられる。この例において、350ナノメートルから700ナノメートルの間の波長を有する照明光を選択するために、照明経路内にバンドパスフィルタが配置される。オーバーレイターゲットがこの光で照明されている間に、検出器は回折された信号の第1のイメージを収集する。第1のイメージが収集された後で、照明バンドパスフィルタは410ナノメートルから820ナノメートルの間の波長を有する照明光を選択するように構成される。オーバーレイターゲットがこの光で照明されている間に、検出器は回折された信号の第2のイメージを収集する。オーバーレイ計算アルゴリズムが、両方のイメージから測定された信号に基づいてオーバーレイ値を概算するために用いられる。

10

【0082】

別の例において、350ナノメートルでの二次回折次数ビームが701ナノメートルでの一次回折次数ビームと重複することを避けるために、照明フィルタと収集フィルタの両方が用いられる。この例において、350ナノメートルから820ナノメートルの間の波長を有する照明光を選択するために、照明経路内にバンドパスフィルタが配置される。それに加えて、ソーティングフィルタも収集経路内に配置される。この例において、収集されたイメージデータは350ナノメートルから820ナノメートルの間の連続した波長範囲を有し、検出器上で第2次数回折光が第1次数回折光に重複していない。

20

【0083】

図14に説明されるように、オーバーレイターゲット210は、x方向に延在する格子構造（例えば、x方向に延在する周期的なラインアンドスペース）を有する2つのセル（211Bおよび211C）と、y方向に延在する格子ピッチ（例えば、y方向に延在するラインアンドスペース）を有する2つのセル（211Aおよび211D）を含む。もう1つのさらなる態様において、オーバーレイターゲット210等のオーバーレイターゲットが、ナローライン形状の照明ビームを90度回転させることによって2つの直交する方向で測定される。波長分散素子が用いられる場合、波長分散素子も回転されるか、または、波長分散の方向を、検出器に投影されるときに90度回転させるために、回転または他の方式で移動もしくは置換される。

30

【0084】

図19は、ビーム成形光学素子107によって生成されて、対物レンズ111によってセル211A上に投影されたナローライン形状ビーム215によって照明されるセル211Aを描写する。図19に描写されるように、ナローライン形状ビーム215は試験片112の表面の対物レンズ瞳216内にあり、ナローライン形状ビーム215の方向は、セル211Aの格子構造の範囲の方向（すなわち、y方向）に揃っている。

【0085】

いくつかの実施形態において、ビーム成形光学素子107は、円筒形レンズまたはミラー群を含み、円筒形レンズまたはミラー群は、試験片122へのナローライン形状ビーム215の投影を90度有効に回転させるために、90度回転される。このようにして、試験片112を回転させることを要せずに、xおよびyのS C O Lターゲット両方が測定される。

40

【0086】

いくつかの実施形態において、円筒形レンズまたはミラー群および分散素子は、ナローライン形状ビームを90度回転させるために回転式モータまたはスライダまたはステージ上に搭載される。

【0087】

50

図20は、検出器118の光検出面220を描写する。検出器での対物レンズ瞳領域221の投影も図20に説明される。図20に描写されるように、セル211Aから反射された+/-1回折次数信号は検出器118への格子ラインの投影に対して垂直な方向に波長分散され、格子ラインに対して平行な方向に、AOIに従って分散される。格子ターゲット211Aから対物レンズ瞳領域221の外部に回折された光（すなわち、より大きなAOIおよび波長値）は対物レンズによって収集されない。

【0088】

同様に、図21に描写されるように、セル211Aから反射されたゼロ次数回折信号は、検出器118への格子ラインの投影に対して垂直な方向に波長分散され、格子ラインに対して平行な方向に、AOIに従って分散される。図21に描写されるように、ゼロ度から65度の間の入射角範囲、また、360ナノメートルから900ナノメートルの波長範囲にわたり、ゼロ次数回折光が収集される。

10

【0089】

一実施形態において、コンピューティングシステム130は、オーバーレイパラメータの概算を、回帰分析での分光BPR信号135に基づいて算定する。

【0090】

この例において、オーバーレイ測定モデルは、オーバーレイ偏位に関するオーバーレイ計測ターゲットのパラメータ化を含む。それに加えて、オーバーレイ測定モデルは、測定ツール自体のパラメータ化（例えば、波長、入射角、偏光角等）を含む。それに加えて、過度に大きなエラーを招くことを避けるために、シミュレーション近似（例えば、スラビング、厳密結合波分析（RCWA）等）が入念に実行される。離散化とRCWAパラメータが定義される。

20

【0091】

機械パラメータ（ $P_{machine}$ ）は、計測ツール自体を特性評価するために用いられるパラメータである。例示的機械パラメータは、入射角（AOI）、分析器角（AO）、偏光子角（PO）、照明波長、開口数（NA）等を含む。試験片パラメータ（ $P_{specimen}$ ）は、試験片の形状特性および材料特性を特性評価するために用いられるパラメータである。

【0092】

測定目的のため、オーバーレイ測定モデルの機械パラメータは、既知の固定されたパラメータとして取り扱われ、オーバーレイ測定モデルの試験片パラメータ、または試験片パラメータのサブセットは、未知の浮動パラメータとして取り扱われる。浮動パラメータは、理論的予測と測定データの間のベストフィットをもたらしフィッティングプロセス（例えば、回帰、ライブラリマッチング等）によって決定される。未知の試験片パラメータ、 $P_{specimen}$ は変動し、モデル出力値は、モデル出力値と測定値の間の厳密な一致をもたらし一組の試験片パラメータ値が求められるまで計算される。

30

【0093】

さらなる態様において、分光ビームプロファイル計測システムは、オーバーレイ測定の確度と精度を改善するために、取得された波長と入射角のサブセットを選択するように構成される。適正な波長およびAOI範囲は、プロセス変動により、サイト毎に変わり得る。

40

【0094】

もう1つのさらなる態様において、分光ビームプロファイル計測システムは、オーバーレイ測定の確度と精度を改善するために、取得された波長と入射角を重み付けするように構成される。

【0095】

従来、信号選択と重み付けはAOIのみに基づくが、本明細書に記載される信号選択と重み付けは、同時に収集されたAOIおよび波長データ両方に基づくものである。

【0096】

もう1つのさらなる態様において、訓練された（ $trained$ ）SRM（信号応答計測

50

）モデルまたはS P I（単一パラメータアイソレーション）モデルが、オーバーレイ値を求めるために、取得された測定信号に適用される。S R MおよびS P Iモデルは、オーバーレイ基準データに基づいて訓練される。

【0097】

いくつかの他の実施形態において、システムの瞳内により高い次数（すなわち、ゼロとは異なる任意の次数）を含めるために、ソリッドイマージョン技法が用いられてもよい。このようにして、大きな収集NAがないシステムであっても、同じ検出器を用いてゼロ次数回折光とより高い次数の回折光を検出してもよい。

【0098】

さらなる態様において、信号を同時にまたは逐次検出するために収集経路内に2以上の検出器が用いられる。いくつかの実施形態において、各検出器は、異なる波長範囲を同時に検出するように構成される。これは、単一の検出器では全波長範囲にわたり十分な確度での測定ができない広い波長範囲にわたる測定のために有益であり得る。例えば、1つの検出器は紫外から可視範囲に最適化されるのに対し、もう1つの検出器は赤外範囲に最適化される。これらの検出器が相まって、広範なスペクトル範囲にわたる測定信号を生成可能である。一例において、190から2,300ナノメートルの波長範囲の測定が望まれる。この例において、裏面入射型CCDイメージセンサ（例えば、日本の浜松コーポレーション（Hamamatsu Corporation）製の裏面入射型CCDイメージセンサモデルナンバーS10420）が、190から1,000ナノメートルの間の波長範囲内で測定を実行するために用いられる。それに加えて、フォトダイオードアレイ（例えば、日本の浜松コーポレーション製のInGaAsリニアイメージセンサモデルナンバーG9207-256W）が、950から2,300ナノメートルの間の波長範囲内で測定を実行するために用いられる。

【0099】

いくつかの実施形態において、カスケード接続分光器設計が、異なる波長範囲にわたって測定信号を同時に検出するために用いられる。高次数信号と低次数信号の間のスペクトル分離を提供するためにソーティングフィルタが用いられてもよい。一実施形態において、波長範囲分離はホットミラーまたはコールドミラーによって達成される。別の実施形態では、波長範囲分離は、ケーエルエーテンカーコーポレーション（KLA-Tencor Corporation）に譲渡された米国特許第8,873,050号に記載される、波長分離と信号検出向けに設計されたカスケード接続紫外+赤外分光器設計を用いて達成され、その特許の主題は参照により全体が本明細書に組み込まれる。

【0100】

もう1つのさらなる態様において、1以上の照明アパーチャが、ナローライン形状の照明光ビームの強度プロファイルを減衰させるために分光ビームプロファイル計測システムの照明経路に配置されている。これは、より小さいフィーチャが測定され得るように、より小さい測定ボックスサイズを可能にする。いくつかの実施形態において、測定スポットサイズを縮小するために、1以上のアポダイザまたはスリットが照明経路内に配置されている。いくつかの実施形態において、アポダイザまたはスリットは、測定AOIの範囲を限定するために照明経路内に配置されている。

【0101】

図1に描写されるように、多波長照明光119は、照明経路内にビーム成形光学素子107以前に配置された1以上の照明アパーチャ104を通過する。選択可能な照明アパーチャ104のアパーチャ（複数可）は、限定はしないが、機械的ピンホール、空間光変調器（SLM）、アポダイザおよび任意のその他のビーム成形および制御コンポーネントまたはサブシステムを含む任意の適切なデバイスによって形成されてよい。

【0102】

いくつかの実施形態において、ビームがビーム成形光学素子107によって実質的に再成形される前に、照明光ビームを減衰することによって測定スポットサイズを減少させるために、照明経路内に配置されたアポダイザが用いられる。これらの実施形態のうちいく

10

20

30

40

50

つかにおいて、エッジ回折効果を減少させるために光強度プロファイルを減衰させるために、アポダイザ104が選択される。

【0103】

いくつかの実施形態において、アポダイザ104は、照明NA範囲、したがって、利用可能なAOIの範囲を制御するために選択される。図12Aに描写された一例において、被測定試験片112は、500ナノメートルのピッチを有する格子構造を含む。照明光119は、190-2, 500ナノメートルの範囲の波長成分を含む。この例において、アポダイザ104は照明AOIの範囲を32-65度の範囲内に限定するように選択される。これは、この例におけるゼロ次数回折信号収集を可能にする。図12Aは、アポダイザ104との相互作用の前のコリメートされた照明ビーム119の強度断面188Aを描写する。図12Aは、アポダイザ104との相互作用の後のコリメートされた照明ビーム119の強度断面188Bも描写している。図12Aに描写されるように、アポダイザ104は照明強度をビームの中心において大幅に減衰させることによって照明AOIの範囲を限定する(小さいAOI)。図12Aは、対物レンズ111に入射するときの照明ビームの強度断面188Cを描写する。図12Aに示すように、強度断面はアポダイザ104と、ビーム成形光学素子107による強度断面の「平坦化」の組み合わせによって影響される。図12Aは、検出器118への収集光の投影188Dを描写する。この例において、32度未満のAOIに関連する収集光ビームをブロックするために収集アパーチャ115が用いられる。これは、非ゼロ回折次数を有する収集光を有効にブロックする。その結果、検出器118はAOIに関する光を32-65度の範囲内(すなわち、図12Aで説明されるAOI領域BおよびB')で感知し、0から32度のAOI範囲内(すなわち、図12Aで示されるAOI領域A)の実質的な光を感知しない。

【0104】

図12Bに示される別の例において、アポダイザ104は、照明AOIの範囲を15-65度以内に限定するために選択される。これは、この例においてもゼロ次数回折信号収集を可能にする。図12Bは、アポダイザ104との相互作用の前のコリメートされた照明ビーム119の強度断面189Aを描写する。図12Bは、アポダイザ104との相互作用の後のコリメートされた照明ビーム119の強度断面189Bも描写している。図12Bに描写されるように、アポダイザ104は照明強度をビームの中心において大幅に減衰させることによって照明AOIの範囲を限定する(小さいAOI)。図12Bは、対物レンズ111に入射するときの照明ビームの強度断面189Cを描写する。図12Bは、検出器118への収集光の投影189Dを描写する。この例において、15度未満のAOIに関連する収集光ビームをブロックするために収集アパーチャ115が用いられる。これは、非ゼロ回折次数を有する収集光を有効にブロックする。その結果、検出器118はAOIに関する光を15-65度の範囲内(すなわち、図12Bで説明されるAOI領域DおよびD')で感知し、0から15度のAOI範囲内(すなわち、図12Bで説明されるAOI領域C)の実質的な光を感知しない。

【0105】

いくつかの実施形態において、照明アパーチャ104は単一のアパーチャ素子である。いくつかの他の実施形態において、照明アパーチャ104はアパーチャ素子のアレイである。いくつかの例において、1以上のアパーチャ素子は、単一運動自由度ステージまたは多運動自由度モーションステージ上に配置される。このようにして照明経路内の1以上のアパーチャ素子の存在または位置は、例えば、コンピューティングシステム130によってプログラム可能に制御されてよい。

【0106】

図1の描写ではシステム100は1以上の照明アパーチャ104を含むが、いくつかの他の実施形態において、照明アパーチャは照明経路内でビーム成形光学素子107以前に用いられなくてもよい。したがって一般に、照明アパーチャの使用は任意選択的である。

【0107】

さらなる態様において、1以上の照明アパーチャが、照明経路内にビーム成形光学素子

以降に配置されている。いくつかの実施形態において、照明アパーチャは測定スポットサイズを減少させるために照明経路内に配置されている。いくつかの実施形態において、照明アパーチャは測定 A O I の範囲を限定するために照明経路内に配置されている。

【0108】

図1に描写されるように、多波長照明光119は、照明経路内にビーム成形光学素子107以降に配置された1以上の照明アパーチャ108を通過する。照明光は、照明ビームスプリッタ109に到達する前に1以上の選択可能な照明アパーチャ108を通過する。いくつかの実施形態において、選択可能な照明アパーチャ108は、一組の照明視野絞りと一組の照明瞳絞りを含む。照明視野絞りは、試験片112上に投影される照明のスポットサイズを選択するように構成される。照明瞳絞りは、試験片112上に投影される照明瞳を選択するように構成される。照明視野絞りと瞳絞りは、他の光学素子コンポーネント（例えば、対物レンズ111）と合同して作動して、試験片112の表面上での最適な光スループット、照明視野および瞳に合わせた照明NAを達成する。選択可能な照明アパーチャ108のアパーチャ（複数可）は、限定はしないが、機械的ピンホール、空間光変調器（SLM）、アポダイザおよび任意のその他のビーム成形および制御コンポーネントまたはサブシステムを含む任意の適切なデバイスによって形成されてもよい。

10

【0109】

いくつかの実施形態において、照明アパーチャ108は、ナローライン形状ビームのサイズと強度プロファイルを制御するためのナロースリットまたはアポダイザを含む。一実施形態において、照明アパーチャ108は、図12A-12Bを参照して説明したように A O I の範囲を限定するためのアポダイザを含む。このようにして、照明アパーチャ108は、アポダイザ104と合わせて、またはアポダイザ104の代替として用いられてよい。

20

【0110】

図1の描写ではシステム100は1以上の照明アパーチャ108を含むが、いくつかの他の実施形態において、照明アパーチャは、照明経路内でビーム成形光学素子107以降に用いられなくてもよい。したがって、一般に、照明アパーチャの使用は任意選択的である。

【0111】

さらなる態様において、1以上の収集アパーチャが、収集経路内に対物レンズ111以降に配置されている。いくつかの実施形態において、収集アパーチャは、検出器118によって検出される収集ビームの部分を選択するために収集経路内に配置されている。

30

【0112】

図1に描写されるように、収集光は、収集経路内に対物レンズ111以降に配置された1以上の収集アパーチャ115を通過する。収集光は、波長分散素子117と検出器118に到達する前に1以上の選択可能な収集アパーチャ115を通過する。

【0113】

図12A-12Bを参照して説明した例において、照明アポダイザと収集アパーチャは、A O I 範囲を限定することによって試料からの0次数回折光を収集するために選択された。例えば、500ナノメートルピッチの格子ターゲットからゼロ次数信号を取得するために、照明アポダイザと収集アパーチャの両方が、検出対象のA O I の範囲を限定するために中央ブロッケージを含んだ。より具体的には、収集アパーチャの中央ブロッケージは、負の1次数回折光が検出器118に到達することを有効にブロックする。

40

【0114】

別の実施形態において、収集アパーチャ115は、波長分散素子117によって分散前に収集光のビームライン幅をさらに縮小するためのナロースリットを含む。

【0115】

いくつかの別の例では、1以上の照明アパーチャと1以上の収集アパーチャは、限定されたA O I 範囲で試料からのより高次数の回折光を収集するために選択される。

【0116】

50

選択可能な収集アパーチャ 115 のアパーチャ（複数可）は、限定はしないが、機械的ピンホール、空間光変調器（SLM）、アポダイザおよび任意のその他のビーム成形および制御コンポーネントまたはサブシステムを含む任意の適切なデバイスによって形成されてもよい。

【0117】

いくつかの実施形態において、収集アパーチャ 115 は単一のアパーチャ素子である。いくつかの他の実施形態において、収集アパーチャ 115 はアパーチャ素子のアレイである。いくつかの例において、1 以上のアパーチャ素子は、単一運動自由度ステージまたは多運動自由度モーションステージ上に配置される。このようにして収集経路内の 1 以上のアパーチャ素子の存在または位置は、例えば、コンピューティングシステム 130 によってプログラム可能に制御されてよい。

10

【0118】

図 1 の描写ではシステム 100 は 1 以上の収集アパーチャ 115 を含むが、いくつかの他の実施形態において、収集アパーチャは用いられなくてもよい。したがって、一般に、収集アパーチャの使用は任意選択的である。

【0119】

もう 1 つのさらなる態様において、空間光変調器（SLM）が照明経路、収集経路、または両方に配置されている。いくつかの実施形態において、SLM は測定システムの光学的瞳面に配置されている。SLM は、透過波面エラーを低減し、ビームの振幅と位相分布を成形するために、照明光、収集光または両方の経路にわたり、振幅、位相分布または両方を変調するように構成される。さらなる態様において、空間光変調器は、照明ビームにわたる位相分布のプログラム可能な構成を可能にする。これは、収差を補正、またはコンタミネーション信号を相殺するために用いられ得る。非限定的な例として、透過型液晶表示（LCD）デバイス、シリコン基板上の反射型液晶（LCOS）デバイス、ピクセル化されたミラーデバイスおよび連続した表面を有する変形可能なミラーデバイスのうちいずれかが、計測システムの照明経路内の SLM として用いられ得る。変形可能なミラー素子は、プログラム可能な表面形状を含む。特に、対物レンズ 111、アポダイザ 104、ビーム成形素子 107 の円筒形ミラー、およびその他の光学素子コンポーネントから生じる光学収差が、変形可能なミラーアレイ等の 1 以上の SLM によって補償され得る。

20

【0120】

もう 1 つのさらなる態様において、偏光素子が照明経路内に対物レンズ以前に配置されている。いくつかの実施形態において、偏光素子はビーム成形光学素子以前に配置されている。いくつかの他の実施形態において、偏光素子はビーム成形光学素子と対物レンズの間に配置されている。

30

【0121】

さらなる態様において、分析器素子が収集経路内に対物レンズ以降に配置されている。

【0122】

図 1 に描写されるように、多波長照明光 119 は、偏光子 105 を通過し、収集光は分析器 114 を通過する。いくつかの実施形態において、偏光子 105 は定置型、または選択可能な偏光素子である。いくつかの実施形態において、偏光子 105 と分析器 114 は、回転ステージ上に搭載される。回転ステージは、所望の偏光角または偏光角のシーケンスに移動するために例えばコンピューティングシステム 130 によって制御され、測定信号が各偏光角で収集される。代替的に、その他の偏光制御機構が用いられてもよい。例えば、チャンネル分離または偏光制御機構（例えば、ソレイユバビネ補償板、波長板、液晶偏光コントローラまたはその他の電子光学偏光コントローラ）による偏光成分の同時測定が実行されてもよい。

40

【0123】

いくつかの他の実施形態において、偏光子 105 は回転偏光素子である。これらの実施形態において、偏光子 105 は一定速度で回転され、検出器信号は所定のフレームレートで取得される。これらの実施形態において、システム 100 は多数の AOI 分光エリプソ

50

メータ（SE）として作動する。

【0124】

もう1つのさらなる態様において、補償器（例えば、補償器106）が照明経路内に偏光子以降に追加され、もう1つの補償器（例えば、補償器113）が収集経路内に分析器以前に追加される。偏光子と収集側の補償器がデータ取得中に連続して回転する場合、計測システムは多重AOI回転偏光子、回転補償器（RPRC）システムとして作動する。偏光子が固定位置に留まり、収集側補償器と照明側補償器の両方がデータ取得中に両方とも回転した場合、システムは多重AOI回転補償器、回転補償器（RCRC）システムとして稼動する。

【0125】

図1の描写ではシステム100は偏光子105、分析器114、補償器106および補償器113を含むが、いくつかの他の実施形態において、これらの素子のいずれかまたは全てが用いられなくてもよい。したがって、一般に、これらの素子の使用は任意選択的である。

【0126】

本明細書に以前に記載されたように、試験片上の照明スポットサイズを画定するために、一組の照明アパーチャ（ビーム成形光学素子以前、ビーム成形光学素子以降、または両方）が選択される。それに加えて、いくつかの実施形態において、瞳検出器によって検出されるAOIの範囲を画定するために、一組の照明アパーチャは一組の収集アパーチャと対にされる。照明と収集アパーチャの組は、固定型であっても、プログラム可能であってもよく、物理的アパーチャ、SLMまたは任意のその他の適切な選択可能な機構に基づくものであってよい。

【0127】

図9A-9Cは、3つの例示的測定用途向けの照明および収集アパーチャ選択を描写する。

【0128】

図9Aは、小ピッチ（すなわち、ピッチ<136ナノメートル）を有する格子ターゲットのCD信号のゼロ次数測定、または薄膜のゼロ次数測定のための分光BPRシステムにおけるビーム強度プロファイルのいくつかの図を描写する。この例において、波長は約260ナノメートルから約800ナノメートルにわたる。

【0129】

図9Aは、ビーム成形光学素子107との相互作用前のコリメートされた照明ビーム119の強度断面180Aを描写する。図9Aは、ビーム成形光学素子107との相互作用後のコリメートされた照明ビーム119の強度断面180Bも描写する。この例において、照明アパーチャ108からも収集アパーチャ115からもブロックはない。したがって、対物レンズ111に入射する強度断面180Cと波長分散素子117に入射する強度断面180Dは、ビーム成形光学素子107によって課されるナローラインビーム形状を反映している。

【0130】

図9Bは、比較的大きなピッチ（すなわち、136から500ナノメートルの間のピッチ）を有する格子ターゲットのCD信号のゼロ次数測定に関する分光BPRシステムにおけるビーム強度プロファイルのいくつかの図を描写している。この例において、波長は約190ナノメートルから約800ナノメートルにわたる。

【0131】

図9Bは、ビーム成形光学素子107との相互作用前のコリメートされた照明ビーム119の強度断面181Aを描写する。図9Bは、ビーム成形光学素子107との相互作用後のコリメートされた照明ビーム119の強度断面181Bも描写する。この例において、照明アパーチャ108は32度未満のAOIをブロックするように構成される。照明アパーチャ108との相互作用後、対物レンズ111に入射する強度断面181Cは、このブロックを反映している。同様に、収集アパーチャ115は32度未満のAOIをブロッ

10

20

30

40

50

クするように構成される。収集アパーチャ 1 1 5 との相互作用後、波長分散素子 1 1 7 に入射する強度断面 1 8 1 D は、このブロックを反映している。これが、非ゼロ回折次数を有する収集光を有効にブロックする。その結果、検出器 1 1 8 は 3 2 度より大きい A O I に関する光を感知する。

【0 1 3 2】

図 9 C は、比較的大きなピッチを有するオーバーレイ構造の第 1 次数測定に関する分光 B P R システムにおけるビーム強度プロファイルのいくつかの図を描写している（別称では光散乱計測オーバーレイ測定）。

【0 1 3 3】

図 9 C は、ビーム成形光学素子 1 0 7 との相互作用前のコリメートされた照明ビーム 1 1 9 の強度断面 1 8 2 A を描写する。図 9 C は、ビーム成形光学素子 1 0 7 との相互作用後のコリメートされた照明ビーム 1 1 9 の強度断面 1 8 2 B も描写する。この例において、照明アパーチャ 1 0 8 は 1 2 度を超える A O I をブロックするように構成される。照明アパーチャ 1 0 8 との相互作用後、対物レンズ 1 1 1 に入射する強度断面 1 8 2 C は、このブロックを反映している。逆に、収集アパーチャ 1 1 5 は、1 2 度未満の A O I をブロックするように構成される。収集アパーチャ 1 1 5 との相互作用後、波長分散素子 1 1 7 に入射する強度断面 1 8 2 D は、このブロックを反映している。収集アパーチャは、ゼロ回折次数を有する収集光を有効にブロックする。その結果、検出器 1 1 8 は 1 2 度より大きい A O I を有する光を感知し、それはこの例において、− 1 次数および＋ 1 次数回折光を含む。

【0 1 3 4】

もう 1 つのさらなる態様において、照明経路内に配置されたビーム成形光学素子は、ナローラインビーム照明を所望の方位角に回転させるように構成される。本明細書で以前に記載されたように、ビーム成形光学素子（例えば、ビーム成形光学素子 1 0 7）は方位照明成分を有効に単一の方位値に減弱させる。しかしながら、ナローラインビーム照明をビーム軸周りに有効に回転させることによって、有効方位角が変えられる。C D 線間隔格子等の何らかの二次元測定ターゲットに関して、また、複雑なフィン構造等の何らかの三次元測定ターゲットに関して、測定感度は、照明が 1 以上の特定の方位角でターゲットに提供されたときに改善される。

【0 1 3 5】

一実施形態において、ビーム成形光学素子 1 0 7 は、コリメート照明光 1 1 9 を受け取り、被測定試料に対してプログラム可能な照明方位角に配向したナローラインビームを生成するように構成された S L M を含む。

【0 1 3 6】

いくつかの実施形態において、ビーム方位角の任意の変更のために、波長分散素子 1 1 7 および検出器 1 1 8 に対する収集ビームの配向を維持するために、もう 1 つの S L M が収集経路内に配置されている。コンピューティングシステム 1 3 0 は、ビーム方位角の任意の変更のために角度アライメントを維持するために、照明 S L M と収集 S L M の状態における変化を調整するように構成される。いくつかの他の実施形態において、検出器上に投影されたイメージは、方位角の変更によって誘起された回転を考慮に入れるために、ソフトウェアにおいて回転される。

【0 1 3 7】

別の実施形態において、図 1 に描写されるビーム成形光学素子 1 0 7 は、それぞれが回転運動ステージに取り付けられた一対の円筒形ミラーを含む。各回転運動ステージは、ナローラインビームに関連する所望の方位角を達成するべく円筒形ミラーの配向を変更するために例えばコンピューティングシステム 1 3 0 によって制御される。このようにして、システム 1 0 0 は、試料に対して照明ビーム方位角を変更するように構成される。

【0 1 3 8】

いくつかの実施形態において、収集ビームに対する波長分散および検出器の配向を維持するために、波長分散素子 1 1 7 および検出器 1 1 8 も回転運動ステージに取り付けられ

ている。コンピューティングシステム130は、ビーム方位角の任意の変更のために角度アライメントを維持するために、円筒形ミラー、波長分散素子117および検出器118の運動を調整するように構成される。回転運動ステージは圧電モータ、サーボモータ、または任意のその他の適切な回転駆動システムによって駆動され得る。いくつかの他の実施形態において、検出器上に投影されたイメージは、方位角の変更によって誘起された回転を考慮に入れるために、ソフトウェアにおいて回転される。

【0139】

別の実施形態において、図3に描写されたビーム成形光学素子121は、分光BPRシステムの共通の経路内に配置される。ビーム成形光学素子121は、それぞれが回転運動ステージに取り付けられた一対の円筒形ミラーを含む。各回転運動ステージは、ナローラインビームに関連する所望の方位角を達成するべく円筒形ミラーの配向を変更するために例えばコンピューティングシステム130によって制御される。このようにして、システム300は、試料に対して照明ビーム方位角を変更するように構成される。

10

【0140】

この実施形態において、ビーム形状は、ビーム成形光学素子121を通して戻った後で円形ビームとして回復される。収集経路に配置された付加的なビーム成形光学素子120は、円形ビームを、検出器118上に分散させる前にナローライン形状ビームに再成形する。

【0141】

図10A-Cは、3つの異なる方位角選択に関連するビーム強度プロファイルを描写する。

20

【0142】

図10Aは、ゼロ方位角に関する分光BPRシステムにおけるビーム強度プロファイルのいくつかの図を描写する。コリメートされた照明ビーム119の強度断面183Aは、ビーム成形光学素子107との相互作用前の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。強度断面183Bは、ビーム成形光学素子107との相互作用後の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。説明目的で、図10Aに描写された照明ビーム方位角はゼロ方位角として画定され得る。対物レンズ111に入射するときの強度断面183Cと、波長分散素子117に入射するときの強度断面183Dは、ゼロ方位角を反映している。

30

【0143】

図10Bは、90度の方位角に関する分光BPRシステムにおけるビーム強度プロファイルのいくつかの図を描写する。コリメートされた照明ビーム119の強度断面184Aは、ビーム成形光学素子107との相互作用前の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。強度断面184Bは、ビーム成形光学素子107との相互作用後の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。この例において、ビーム成形光学素子107の構成は、照明ビーム方位角が、図10Aを参照して説明したゼロ方位角に対して90度となるように変更される。対物レンズ111に入射するときの強度断面184Cと、波長分散素子117に入射するときの強度断面184Dは、90度の方位角を反映している。

40

【0144】

図10Cは、45度の方位角に関する分光BPRシステムにおけるビーム強度プロファイルのいくつかの図を描写する。コリメートされた照明ビーム119の強度断面185Aは、ビーム成形光学素子107との相互作用前の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。強度断面185Bは、ビーム成形光学素子107との相互作用後の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。この例において、ビーム成形光学素子107の構成は、照明ビーム方位角が、図10Aを参照して説明したゼロ方位角に対して45度となるように変更される。対物レンズ111に入射するときの強度断面185Cと、波長分散素子117に入射するときの強度断面185Dは、45度の方位角を反映している。

【0145】

本明細書に以前に記載されたように、いくつかの実施形態において、ナローラインビー

50

ム照明を所望の方位角に回転させるために、ビーム成形光学素子が照明経路内に配置されている。さらに、いくつかの実施形態において、本明細書に以前に記載されたように、瞳検出器によって検出されるA O Iの範囲を画定するために、一組の照明アパーチャは一組の収集アパーチャと対にされる。一般に、システム100のような分光B P Rシステムは、方位選択とA O I選択の両方のために構成されてよい。

【0146】

図11A-Bは、2つの異なる方位角選択およびA O I選択に関連するビーム強度プロファイルを描写する。

【0147】

図11Aは、ゼロ方位角に関する分光B P Rシステムにおけるビーム強度プロファイルのいくつかの図を描写する。コリメートされた照明ビーム119の強度断面186Aは、ビーム成形光学素子107との相互作用前の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。断面186Bは、ビーム成形光学素子107との相互作用後の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。説明目的で、図11Aに描写された照明ビーム方位角はゼロ方位角として画定される。この例において、照明アパーチャ108は32度未満のA O Iをブロックするように構成される。照明アパーチャ108との相互作用後、波長分散素子117に入射する強度断面186Cは、このブロックを反映する。同様に、収集アパーチャ115は32度未満のA O Iをブロックするように構成される。収集アパーチャ115との相互作用後、対物レンズ111に入射する強度断面186Dは、このブロックを反映する。これが、非ゼロ回折次数を有する収集光を有効にブロックする。その結果、検出器118は32度より大きいA O Iに関する光をゼロ方位角で感知する。

【0148】

図11Bは、90度の方位角に関する分光B P Rシステムにおけるビーム強度プロファイルのいくつかの図を描写する。コリメートされた照明ビーム119の強度断面187Aは、ビーム成形光学素子107との相互作用前の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。強度断面187Bは、ビーム成形光学素子107との相互作用後の照明ビームのビームプロファイル強度を描写する。この例において、ビーム成形光学素子107の構成は、照明ビーム方位角が、図11Aを参照して説明したゼロ方位角に対して90度となるように変更される。図11Aを参照して説明したように、照明アパーチャ108は、32度未満のA O Iをブロックするように構成される。照明アパーチャ108との相互作用の後で、対物レンズ111に入射する強度断面187Cは、このブロックを反映する。同様に、収集アパーチャ115は、32度未満のA O Iをブロックするように構成される。収集アパーチャ108との相互作用の後で、波長分散素子117に入射する強度断面187Dは、このブロックを反映する。これは、非ゼロ回折次数を有する収集光を有効にブロックする。その結果、検出器118は、32度より大きいA O Iに関する光を90度の方位角で感知する。

【0149】

もう1つのさらなる態様において、分光B P Rシステムは、瞳面のマッピングを可能にするために、照明ビームをA O I方向に沿って走査するように構成される。さらなる態様において、この瞳走査機構は、ターゲットノイズの平均化とコヒーレンス効果の低減および確度の改善を可能にするために、フィールド面を走査する第2の走査機構で補完されてもよい。

【0150】

図1に描写されるように、走査ミラー143は照明経路内にビーム成形光学素子以前に配置されている。走査ミラーはチップ／チルト運動ステージ（例えば、圧電駆動ステージ）上に搭載される。チップ／チルト運動ステージは、A O Iの範囲を変更することによって試験片にわたる平面内で照明を操縦するように構成される。C D格子またはS C O L格子等の比較的大きなピッチフィーチャによって特徴付けられる周期的構造を測定する場合、最適なA O I範囲を選択するために走査ミラーを備える照明ビームの操縦が用いられる。

10

20

30

40

50

【0151】

図13は、分光BPRシステムにおけるビーム強度プロファイルの、走査ミラー143の配向変化によるシフトに関するいくつかの図を描写している。強度断面190Aは、走査ミラーの所与の配向での、対物レンズ111に入射する前の照明ビームのビームプロファイル強度を描写している。強度断面190Bは、波長分散素子117に入射する収集ビームのビームプロファイル強度を描写している。強度断面190Cは、走査ミラーの異なる配向での、対物レンズ111に入射する前の照明ビームのビームプロファイル強度を描写している。図13で示すように、これは、ナローラインビームの、AOI方向における対物レンズ111を横断するシフトをもたらす。強度断面190Dは、波長分散素子117に入射する収集ビームのビームプロファイル強度を描写している。図示のように、ナローラインビームのシフトは、波長分散素子117を横断する収集ビームのシフト、また最終的に検出器118のAOI方向におけるシフトももたらす。これは、対物レンズ照明瞳に可視であるAOIの範囲の変化をもたらす。

10

【0152】

図1の描写ではシステム100は走査ミラー143を含むが、いくつかの他の実施形態において、照明経路においてビーム成形光学素子107以前の走査ミラーは用いられなくてもよい。したがって、一般に、走査ミラー143の使用は任意選択的である。

【0153】

測定信号（例えば、図1に描写される測定信号135）は、クリティカルディメンション（CD）、薄膜キャラクタライゼーション、オーバーレイ測定、焦点調節、光学システム校正および診断、または任意のその他の適切な計測の測定に用いられてよい。分光BPR信号135は、大きな波長およびAOI範囲にわたる試料情報を含む。各ピクセルでの検出器信号は、特定のAOIおよび波長に関する光散乱計測信号を表す。したがって、いくつかの実施形態において、ピクセルのサブセットに関連する信号が、測定分析のために選択される。測定用途（例えば、CD、TF、オーバーレイ、フォーカス/ドーズ等）に従って、異なるサブセットが選択されてよい。それに加えて、異なる重みが異なるピクセルデータ（すなわち、特定の波長およびAOI）に割り当てられてよい。信号応答計測（SRM）方法または単一のパラメータアイソレーション（SPI）方法が、特定の測定用途に最も適したピクセル信号のサブセットを選択するために用いられてよい。別の実施形態において、全ての信号が測定分析に用いられる。

20

30

【0154】

もう1つのさらなる態様において、回転偏光子分光エリプソメータ（RPSE）、回転分析器分光エリプソメータ（RASE）、回転補償器分光エリプソメータ（RCSE）、回転偏光子、回転補償器分光エリプソメータ（RPRCSE）、回転補償器、回転補償器分光エリプソメータ（RCRCSE）、レーザー駆動分光反射率計（LDSR）、一次元ビームプロファイル反射率計（1D-BPR）、二次元ビームプロファイル反射率計（2D-BPR）等の他の測定モジュールからの測定信号が、注目すべきパラメータの値を概算するために複合測定分析に含まれてもよい。

【0155】

もう1つのさらなる態様において、分光BPRシステムは、それぞれが収集光ビームの異なる偏光成分を検出するように構成された2つの波長分散素子と2つの対応する検出器を含む。

40

【0156】

図2は、本明細書で提示される例示的方法に従って試験片の特徴を測定するためのシステム200を説明する。図1に描写されたシステム100と同じ番号の要素は、図1に描写されたシステム100と類似したものである。

【0157】

図2に描写されるように、システム200は、収集経路内に、分析器ではなく偏光ビームスプリッタ122を含む。偏光ビームスプリッタ122は、収集光をそのp偏光成分とs偏光成分に分離する。各偏光成分は、別個の波長分散素子および検出器（すなわち、波

50

長分散素子 1 1 7 と検出器 1 1 8、および波長分散素子 1 2 3 と検出器 1 2 4) に向けられる。このようにして、システム 2 0 0 は、2つの異なる偏光を同時に検出して、各偏光成分にそれぞれ関連する分光 B P R 信号 1 3 5 および 1 3 6 を生成するように構成される。

【0 1 5 8】

もう 1 つのさらなる態様において、分光 B P R システムは、共通の経路および収集経路内にビーム成形光学素子を含む。このようにして、ビーム形状は、対物レンズおよび任意の波長分散素子に入射する前にのみナローライン形状となる。

【0 1 5 9】

図 3 は、本明細書で提示される例示的方法に従って試験片の特徴を測定するためのシステム 3 0 0 を説明する。図 1 に描写されたシステム 1 0 0 と同じ番号の要素は、それら要素と類似したものである。

【0 1 6 0】

図 3 に描写されるように、ビーム成形光学素子 1 2 1 は照明経路と収集経路の両方によって共有される共通の経路内に配置されている。図 3 に描写されるように、ビーム成形光学素子 1 2 1 は、入射照明ビームをナローライン形状に再成形するように構成される。試験片 1 1 2 との相互作用の後で、収集ビームはビーム成形光学素子 1 2 1 を通過し、ビーム成形光学素子は、収集ビームをナローライン形状から円形形状に再成形する。

【0 1 6 1】

それに加えて、ビーム成形光学素子 1 2 0 が収集経路に波長分散素子 1 1 7 以前に配置されている。ビーム成形光学素子 1 2 0 は収集ビームを、本明細書で以前に記載されたように波長分散素子 1 1 7 による検出器 1 1 8 への分散に適切なナローライン形状に、円形形状からもう一度再成形する。

【0 1 6 2】

この実施形態において、ビーム形状は、対物レンズ 1 1 1 および波長分散素子 1 1 7 に入射する前にのみナローライン形状となる。それ以外は、ビーム形状は、偏光子、分析器、補償器、照明アパーチャ、収集アパーチャ等の他の光学素子を通過するときに円形である。

【0 1 6 3】

もう 1 つのさらなる態様において、分光 B P R システムは、2つの波長分散素子と、2つの対応する検出器を含む。一方の検出器は、被測定試験片の瞳測定を実行するように構成される。他方の検出器は、同じ試験片のフィールド測定を実行するように構成される。

【0 1 6 4】

図 4 は、本明細書で提示される例示的方法に従って試験片の特徴を測定するためのシステム 4 0 0 を説明する。図 1 に描写されたシステム 1 0 0 と同じ番号の要素は、それら要素と類似したものである。

【0 1 6 5】

図 4 に描写されるように、システム 4 0 0 は、瞳検出器 1 1 8 に加えてフィールド検出器 1 2 7 を含む。フィールド検出器 1 2 7 は、多数の試料または試料ロケーションでの広い波長範囲にわたる反射率信号を取得する。収集経路において、ビームスプリッタ 1 2 5 は測定ビームを分割する。ビームスプリッタ 1 2 5 は、限定はしないが、立方体ビームスプリッタ、金属コーティングプレート、ダイクロイック光学コーティングプレート、またはその他のビーム分割機構を含む任意の適切なビーム分割素子を含んでよい。測定ビームの一部分が波長分散素子 1 1 7 および瞳検出器 1 1 8 に向けられる。測定ビームの別の部分が波長分散素子 1 2 6 およびフィールド検出器 1 2 7 に向けられる。ビームは、集束光学素子 1 4 5 によって集束される。ビーム焦点位置において、波長分散素子 1 2 6 は、波長に従って二次元検出器 1 2 7 の一方の次元に沿ってビームを分散させる。試料位置は、二次元検出器 1 2 7 の他方の次元に沿って分散される。各ピクセルでの信号は、特定の試料位置および波長での反射率を表す。これらの信号 1 3 7 は、測定分析のためにコンピューティングシステム 1 3 0 に通信される。非限定的な例として、検出されたスペクトルは

10

20

30

40

50

、クリティカルディメンション（ＣＤ）、薄膜キャラクタライゼーション、オーバーレイ測定、ゼロ次数信号に基づく焦点調節、光学システム較正および診断、または任意のその他の適切な計測の測定のために用いられてよい。いくつかの例において、フィールド測定信号１３７に基づいて、多数のターゲットが同時に測定される。

【０１６６】

いくつかの実施形態において、フィールド収集経路は、フィールド信号検出器１２７に投影する信号を選択するための一組の収集アパーチャを含む。いくつかの例において、より高次数のフィールド信号が、フィールド信号検出器１２７への投影のために選択される。選択可能なフィールド収集アパーチャのアパーチャ（複数可）は、限定はしないが、機械的ピンホール、空間光変調器（ＳＬＭ）、アボダイザおよび任意のその他のビーム成形および制御コンポーネントまたはサブシステムを含む任意の適切なデバイスによって形成されてもよい。

10

【０１６７】

いくつかの実施形態において、スライド式ミラーまたはフリップインミラーがビームスプリッタ１２５の代わりに用いられる。この実施形態において、フィールドおよび瞳測定は、例えばコンピューティングシステム１３０の制御下でスライド式ミラーを収集ビーム経路において選択的に出し入れすることによって逐次実行される。

【０１６８】

いくつかの実施形態において、ビームスプリッタ１２５は、二次元イメージング検出器への直接のイメージングのために収集ビームの一部分を集束光学素子１４５に方向転換する。これらの実施形態において、結果として得られたウェハフィールドイメージは、測定目的、パターン認識、イメージに基づく集束、またはそれらの任意の組み合わせのために用いられ得る。

20

【０１６９】

さらなる態様において、瞳検出器１１８およびフィールド検出器１２７からの複合データは、注目すべきパラメータの値を概算するために、または診断試験を実行するために用いられる。いくつかの実施形態において、１以上の構造的またはプロセスパラメータ値を概算して測定の品質を特性評価するためにフィールドおよび瞳測定信号の両方が同時に検出される。いくつかの実施形態において、１以上の構造的またはプロセスパラメータ値を概算するためにフィールド測定信号が処理され、フィールド測定条件を特性評価するために瞳測定信号が処理される。いくつかの別の実施形態において、１以上の構造的またはプロセスパラメータ値を概算するために瞳測定信号が処理され、瞳測定条件を特性評価するためフィールド測定信号が処理される。

30

【０１７０】

フィールド測定信号は、測定システムのフィールド面で、またはその付近で検出される。測定システムのフィールド面は、被測定試験片の表面と接合している。瞳面測定信号は、測定システムの瞳面で、またはその付近で検出される。瞳面は、フィールド面のフーリエ変換であり、対物レンズの制限アパーチャと接合している。一般に、被測定試験片の表面上の異なる位置から反射、回折または散乱された光は、収集角に係わらず、測定システムのフィールド面内の異なる位置で検出される。対照的に、被測定試験片の表面上から異なる角度で反射、回折または散乱された光は、試験片の表面上での光相互作用の位置に係わらず、測定システムの瞳面内の異なる位置で検出される。

40

【０１７１】

いくつかの実施形態において、フィールドおよび瞳測定信号の両方が同時に検出される。検出された信号は１以上の構造的またはプロセスパラメータ値を概算するために反復的に処理される。より具体的には、少なくとも１つの測定ターゲットに関連する少なくとも１つの構造的またはプロセスパラメータの値は、瞳測定信号の瞳測定モデルでの反復的回帰と、フィールド測定信号のフィールド測定モデルでの回帰に基づいて決定される。

【０１７２】

一実施形態において、コンピューティングシステム１３０は、ＣＤパラメータの概算を

50

分光BPR信号135に基づいて決定し、膜スタックパラメータ（例えば、膜厚）の概算を、反復的回帰分析でフィールド信号137に基づいて決定する。

【0173】

この例において、CD測定モデルは、注目すべきCDパラメータに関する計測ターゲットのパラメータ化を含む。それに加えて、CD測定モデルは、測定ツール自体のパラメータ化（例えば、波長、入射角、偏光角等）を含む。同様に、膜スタック測定モデルは、注目すべき膜スタックパラメータ（例えば、膜厚）に関する計測ターゲットのパラメータ化を含む。それに加えて、膜スタック測定モデルは、測定ツール自体のパラメータ化を含む。それに加えて、シミュレーション近似（例えば、スラビング、厳密結合波分析（RCWA）等）が、過度に大きなエラーを招くことを避けるために入念に実行される。離散化およびRCWAパラメータが規定される。

10

【0174】

機械パラメータ（ $P_{machine}$ ）は、計測ツール自体を特性評価するために用いられるパラメータである。例示的機械パラメータは、入射角（AOI）、分析器角（AO）、偏光子角（PO）、照明波長、開口数（NA）等を含む。試験片パラメータ（ $P_{specimen}$ ）は、試験片の形状および材料特性を特性評価するために用いられるパラメータである。薄膜試験片に関して、例示的試験片パラメータは屈折率、誘電関数テンソル、全層の公称層厚、層シーケンス等を含む。

【0175】

測定目的のため、マルチターゲットモデルの機械パラメータは、既知の固定パラメータとして取り扱われ、測定モデルの試験片パラメータ、または試験片パラメータのサブセットは、未知の浮動パラメータとして取り扱われる。浮動パラメータは、理論的予測と測定データの間のベストフィットをもたらすフィッティングプロセス（例えば、回帰、ライブラリマッチング等）によって決定される。未知の試験片パラメータ、 $P_{specimen}$ は変動し、モデル出力値は、モデル出力値と測定値の間の厳密な一致をもたらす一組の試験片パラメータ値が求められるまで計算される。

20

【0176】

反復的回帰分析において、コンピューティングシステム130は、測定された瞳信号をCD測定モデルに当てはめて、推定CDパラメータ値に到達する。CD測定モデル内に存在する膜スタックパラメータは、この回帰中にフロートする。次に、コンピューティングシステム130は測定されたフィールド信号を膜スタックモデルに当てはめて推定膜スタックパラメータ値（例えば、膜厚）に到達する。膜スタックモデル内に存在するCDパラメータ値は、以前の瞳信号の、CD測定モデルへの回帰によって決定される値に固定される。次に、コンピューティングシステム130は再び測定瞳信号をCD測定モデルに当てはめて、更新されたCDパラメータ値の推定に到達する。この反復において、CD測定モデル内に存在する膜スタックパラメータは、フィールド信号の膜スタックモデルへの以前の回帰によって決定される値に固定される。この反復は、パラメータ推定値が十分な精度に達するまで続く。

30

【0177】

もう1つのさらなる態様において、フィールドおよび瞳測定信号の両方が同時に検出される。検出された信号は1以上の構造的またはプロセスパラメータ値を概算するために複合分析で処理される。これらの例において、測定モデルは、計測ターゲット（複数可）の構造的パラメータ、材料パラメータ、または構造的パラメータと材料パラメータの組み合わせを瞳およびフィールド測定の両方に関してリンクする複合測定モデルである。

40

【0178】

もう1つのさらなる態様において、分光BPRシステムは、測定経路内に対物レンズ以前にビーム結合素子128を含む。オートフォーカスプローブビーム、パターン認識プローブビーム、または両方の組み合わせが、対物レンズに入射する前に照明ビームと組み合わせられる。同様に、オートフォーカス信号ビーム、パターン認識信号ビームまたは両方の組み合わせが、対物レンズから出射した後で収集ビームから抽出される。ビーム結合素子

50

128は、測定経路に対する位置に固定され、したがって、信頼性と確度を増加させる。測定ビームとオートフォーカスビームの両方が試料を同時に探査するため、システム500は、オートフォーカスシステムが継続的にフォーカス測定に従事している間に測定データを取得することができる。これが、信号品質を改善してフォーカス時間を低減する。

【0179】

図5は、本明細書で提示される例示的方法に従って試験片の特徴を測定するためのシステム500を説明する。図1に描写されたシステム100と同じ番号の要素は、それら要素と類似したものである。

【0180】

本明細書の記載では、対物レンズの正面の照明ビームと収集ビームはナローライン形状ビームである。これは、オートフォーカスプローブビーム146、パターン認識プローブビーム147またはそれら両方が高NA対物レンズに入射する前に測定ビームと合成されることを可能にする。

【0181】

オートフォーカスサブシステム141はオートフォーカスプローブビーム146を生成し、それはビームスプリッタ129および光学的合成素子128を介して対物レンズ111に向けられる。オートフォーカスプローブビーム146に応答して対物レンズ111によって収集された光は、同じ経路を通過してオートフォーカスサブシステム141に戻される。受信した信号に基づいて、オートフォーカスサブシステム141はオートフォーカス信号138を生成し、それはコンピューティングシステム130に通信される。一例において、コンピューティングシステム130は、試験片112の焦点位置を、オートフォーカス信号138に基づいて変更させる。

【0182】

同様に、パターン認識サブシステム142はパターン認識プローブビーム147を生成し、それはビームスプリッタ129および光学的合成素子128を介して対物レンズ111に向けられる。パターン認識プローブビーム147に応答して対物レンズ111によって収集された光は、同じ経路を通過してパターン認識サブシステム142に戻される。受信した信号に基づいて、パターン認識サブシステム142はパターン認識信号139（例えば、イメージ）を生成し、それはコンピューティングシステム130に通信される。一例において、コンピューティングシステム130は、試験片112の位置を、パターン認識信号139に基づき変化させる。このようにして、パターン認識信号139は、試験片112の表面上でナビゲートするために用いられる。

【0183】

図5に描写されるように、システム500は、対物レンズ111の正面の共通の経路内に光学的合成素子128を含む。

【0184】

いくつかの実施形態において、光学的合成素子128は、ナローライン形状のエアギャップを有する折り畳みナローミラーである。折り畳みナローミラーは、2つまたは4つの個々のミラーセルの共面アライメントによって形成されてもよい。代替的に、1つまたは2つのスロットが、反射層をコーティングする前に単一のガラス基板に切り込まれてもよい。図7A-7Cは、光学結合素子128としての二つ折りミラー150を描写する。図7Aは、円形のプロファイルを有するビームプロファイル151を描写する。そのようなプロファイルは、オートフォーカスビーム、パターン認識ビーム、またはそれら両方を表す。図7Aに描写されるように、ビームプロファイル151の多くの部分が二つ折りミラー150によって反射される。図7Bは、照明ビームプロファイル、収集ビームプロファイル、またはそれら両方を表すナローラインビームプロファイル152を描写する。図7Bに描写されるように、ナロービームプロファイル152の全てが二つ折りミラー150内のエアギャップを通過する。図7Cは、二つ折りミラー150と相互作用するナローラインビームプロファイル152と円形ビームプロファイル151の組み合わせを描写する。

。

10

20

30

40

50

【0185】

図7D-7Fは、光学結合素子128としての4セル折り畳みミラー155を描写する。図7Dは、円形のプロファイルを有するビームプロファイル156を描写する。図7Dに描写されるように、ビームプロファイル156の多くの部分が4セルミラー155によって反射される。図7Eは、照明ビームプロファイル、収集ビームプロファイル、またはそれら両方を表すナローラインビームプロファイル157を描写する。図7Eに描写されるように、ナロービームプロファイル157の全てが4セル折り畳みミラー155内のエアギャップを通過する。図7Fは、4セル折り畳みミラー155と相互作用するナローラインビームプロファイル157と円形ビームプロファイル156の組み合わせを描写する。

10

【0186】

いくつかの他の実施形態において、光学素子128は平面のナローミラーである。図8A-8Cは、光学結合素子128としてのナローライン形状ミラー160を描写する。図8Aは、円形のプロファイルを有するビームプロファイル161を描写する。そのようなプロファイルは、オートフォーカスビーム、パターン認識ビーム、またはそれら両方を表す。図8Aに描写されるように、ビームプロファイル161の多くの部分がナローライン形状ミラー160を通過する。図8Bは、照明ビームプロファイル、収集ビームプロファイル、またはそれら両方を表すナローラインビームプロファイル162を描写する。図8Bに描写されるように、ナロービームプロファイル162の全てがナローライン形状ミラー160によって反射される。図8Cは、ナローライン形状ミラー160と相互作用するナローラインビームプロファイル162と円形ビームプロファイル161の組み合わせを描写する。

20

【0187】

図8D-8Fは、光学結合素子128としての十字型ナローミラー165を描写する。図8Dは、円形のプロファイルを有するビームプロファイル166を描写する。そのようなプロファイルは、オートフォーカスビーム、パターン認識ビーム、またはそれら両方を表す。図8Dに描写されるように、ビームプロファイル166の多くの部分が十字型ナローミラー165を通過する。図8Eは、照明ビームプロファイル、収集ビームプロファイル、またはそれら両方を表すナローラインビームプロファイル167を描写する。図8Eに描写されるように、ナロービームプロファイル167の全てが十字型ナローミラー165によって反射される。図8Fは、十字型ナローミラー165と相互作用するナローラインビームプロファイル167と円形ビームプロファイル166の組み合わせを描写する。

30

【0188】

図5に描写されるように、システム500は対物レンズ111の正面の共通の経路内に光学的合成素子128を含み、その結果測定ビームは光学的合成素子128を通過する。そのような構成は、図7A-7Fを参照して説明した折り畳みナローミラー設計に適切である。さらに、図8A-8Fを参照して説明したナローミラー設計は、オートフォーカスおよびパターン認識ビームがビーム結合素子128を直接通って通過し、測定ビームがビーム結合素子128によって回転されるように対物レンズ111が配向している場合にシステム500の一環として実装されてもよい。

40

【0189】

別の態様において、分光ビームプロファイル計測システムのスペクトル成分を検出するためにハイパースペクトル検出器が用いられる。

【0190】

図6は、本明細書で提示される例示的方法に従って試験片の特徴を測定するためのシステム600を説明する。図1に描写されたシステム100と同じ番号の要素は、それら要素と類似したものである。

【0191】

システム600は、瞳検出器としてハイパースペクトル検出器144を含む。検出器144は、検出器の侵入深さ（垂直検出器）、屈折率、またはその他の波長依存性の特性に

50

よって波長成分を測定するように構成される。いくつかの実施形態において、CMOSハイパースペクトル検出器144は、方位とAOIを二次元で測定して（例えば、検出器の面を横断して）、2つの平面次元に対して直交する第3の次元（例えば検出器への深さ）で波長情報を分解する。いくつかの他の実施形態において、ハイパースペクトル検出器の面上の各「ピクセル」は、入射光をいくつかの異なる感光素子に拡散する小さい格子構造を含むスペクトロメータである。一般に、ハイパースペクトル検出器は、図1-5を参照して説明した波長分散素子および検出器の使用の代替として用いられ得る、または、ハイパースペクトル検出器は、これらのシステムを補完するために用いられ得る。

【0192】

図22は、図1-5を参照してそれぞれ説明した計測システム100、200、300、400および500等の計測システムによって実装されるのに適した方法700を説明する。一態様において、方法700のデータ処理ブロックは、コンピューティングシステム130または任意のその他の汎用コンピューティングシステムの1以上のプロセッサによって実行される予めプログラムされたアルゴリズムを介して実行されてよいことが認識される。本明細書では、上記の計測システムのうちいずれかの特定の構造的態様は制限を表すものではなく、単なる説明上のものとして解釈されるべきであると認識される。

【0193】

ブロック701において、多波長を有する照明光のビームが、例えば照明源101によって提供される。ビーム強度断面は二次元である。

【0194】

ブロック702において、照明光のビームは例えばビーム成形成素子107によって再成形され、その結果、照明光の再成形ビームが、概ね一次元であり長さ寸法によって特徴付けられるビーム強度断面を有する。

【0195】

ブロック703において、試験片の表面上のオーバーレイ計測ターゲットは、照明光の再成形されたビームで、入射角の範囲にわたり照明される。照明光の再成形されたビームの長さ寸法は、オーバーレイ計測ターゲットの格子構造の範囲の方向に対して平行な第1の方向に、オーバーレイ計測ターゲット上に投影される。

【0196】

ブロック704において、入射角の範囲にわたるオーバーレイ計測ターゲットの照明に応答して、オーバーレイ計測ターゲットからの光が、例えば対物レンズ111によって収集される。

【0197】

ブロック705において、収集光が、二次元検出器の第1の次元に沿った入射角に従って検出され、また、二次元検出器の第2の次元に沿った波長に従って検出される。

【0198】

本開示を通して説明された様々なステップは、単一のコンピュータシステム130によって実行されても、または、多数のコンピュータシステム130によって実行されてもよいことを理解すべきである。さらに、本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムの異なるサブシステムは、本明細書に記載されるステップの少なくとも一部を実行するために適切なコンピュータシステムを含んでよい。したがって、上記の説明は本発明への限定と解釈されるべきではなく、単に説明と解釈されるべきである。さらに、1以上のコンピューティングシステム130は、本明細書に記載される方法の実施形態のいずれかの、任意のその他のステップ（複数可）を実行するように構成されてもよい。

【0199】

さらに、コンピュータシステム130は、当技術分野で知られる任意の方式で、本明細書に記載される分光ビームプロファイル計測システムの検出器に通信可能に結合されてよい。例えば、1以上のコンピューティングシステム130は、システム100の検出器に関連するコンピューティングシステムに結合されてよい。別の例において、検出器は、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って直接制御さ

10

20

30

40

50

れてよい。

【0200】

計測システム100のコンピュータシステム130は、ワイヤラインおよび／またはワイヤレス部分を含み得る伝送媒体によって、システムのサブシステム（例えば、検出器118等）からデータまたは情報を受信および／または取得するように構成されてよい。このようにして、伝送媒体は、システム100のコンピュータシステム130と、その他のサブシステムとの間のデータリンクとして働き得る。

【0201】

システム100のコンピュータシステム130は、ワイヤラインおよび／またはワイヤレス部分を含み得る伝送媒体によって、その他のシステムからデータまたは情報（例えば、測定結果、モデリング入力、モデリング結果等）を受信および／または取得するように構成されてよい。このようにして、伝送媒体は、コンピュータシステム130と、その他のシステム（例えば、メモリオンボード計測システム100、外部メモリまたはその他の外部メモリシステム等）との間のデータリンクとして働き得る。例えば、コンピューティングシステム130は、データリンクを介して記憶媒体（すなわち、メモリ132または外部メモリ）から測定データを受け取るように構成されてよい。例えば、検出器118を用いて取得したスペクトル測定結果は、永久または半永久メモリデバイス（例えば、メモリ132または外部メモリ）に記憶されてよい。これに関連して、スペクトル結果は、オンボードメモリから、または外部メモリシステムからインポートされてもよい。さらに、コンピュータシステム130は、伝送媒体を介してデータを他のシステムに送信してもよい。例えば、コンピュータシステム130によって算定されたパラメータ値140は、外部メモリに伝えられて記憶されてもよい。これに関連して、測定結果は別のシステムにエクスポートされてもよい。

【0202】

コンピューティングシステム130は、限定はしないが、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、パラレルプロセッサ、または当技術分野で知られる任意のその他のデバイスを含んでよい。一般に、用語「コンピューティングシステム」は、例えば媒体からの命令を実行する1以上のプロセッサを有する任意のデバイスを包含するように広く定義されてよい。

【0203】

本明細書に記載されるようなプログラム命令134を実行する方法は、ワイヤ、ケーブルまたはワイヤレス伝送リンク等の伝送媒体を介して伝送されてよい。例えば、図1に説明されるように、メモリ132に記憶されたプログラム命令134は、バス133を介してプロセッサ131に伝送される。プログラム命令134は、コンピュータ可読媒体（例えば、メモリ132）に記憶される。例示的コンピュータ可読媒体は、リードオンリーメモリ、ランダムアクセスメモリ、磁気もしくは光ディスク、または磁気テープを含む。

【0204】

一般に、より高次数の回折光の検出は、腫面内でなくてもよく、ウェハ面測定も同様に実装され得る。

【0205】

さらなる態様において、多数のターゲットからの測定データが測定用に収集される。いくつかの例において、多数のターゲットに関連する測定データの使用は、測定結果における下層の影響を排除または大幅に低減する。一例において、2つのターゲットからの測定信号は、各測定結果から下層の影響を排除または大幅に低減するために差し引かれる。多数のターゲットに関連する測定データの使用は、モデルに埋め込まれた試料およびプロセス情報を増加させる。

【0206】

もう1つのさらなる態様において、測定ターゲットと、オンデバイスまたはスクライブライン内で見出され得るアシストターゲットとの両方からの測定データが、測定のために収集される。

【0207】

いくつかの例において、本明細書に記載される測定方法は、米国カリフォルニア州ミルピタス（Milpitas）のKLA-Tencor Corporationから入手可能なSpectraShape（登録商標）光学クリティカルディメンション計測システムの素子として実装される。

【0208】

いくつかの別の例では、本明細書に記載される測定方法は、例えば、米国カリフォルニア州ミルピタス（Milpitas）のKLA-Tencor Corporationから入手可能なAcuShape（登録商標）ソフトウェアを実装するコンピューティングシステムによって、オフラインで実装される。

10

【0209】

一般に、本明細書で提示される半導体計測を実行するための方法およびシステムは、ダイ内またはスクライブライン内に配置された実際のデバイス構造または専用計測ターゲット（例えば、プロキシ構造）に直接適用されてよい。

【0210】

さらにもう1つの態様において、本明細書に記載される測定結果は、プロセスツール（例えば、リソグラフィーツール、エッチツール、堆積ツール等）にアクティブフィードバックを提供するために用いられ得る。例えば、本明細書に記載される方法を用いて決定された構造的またはプロセスパラメータの値は、所望の出力（例えば、フォーカスおよびドーセージ）を達成するためにリソグラフィースystemを調節するためにリソグラフィーツールに通信されてよい。同じ方式で、エッチツールまたは堆積ツールにそれぞれアクティブフィードバックを提供するために、エッチパラメータ（例えば、エッチタイム、拡散率等）または堆積パラメータ（例えば、時間、濃度等）が測定モデルに含まれてもよい。

20

【0211】

本明細書に記載される用語「波長分散素子」は、入射光を、線形であっても非線形であっても、波長に応じて任意の方式で分離する任意の分散素子を含む。この定義に、一般に「エネルギー分散」素子と呼ばれる素子が、本特許文書の目的のために波長分散素子として含まれる。

【0212】

本明細書に記載される用語「クリティカルディメンション」は、構造の任意のクリティカルディメンション（例えば、底部クリティカルディメンション、中間クリティカルディメンション、頂部クリティカルディメンション、側壁角、格子高さ等）、任意の2以上の構造間のクリティカルディメンション（例えば、2つの構造間の距離）および2以上の構造間の変位（例えば、オーバーレイ格子構造間のオーバーレイ変位）を含む。構造は、三次元構造、パターン付き構造、オーバーレイ構造等を含み得る。

30

【0213】

本明細書に記載される用語「クリティカルディメンション用途」または「クリティカルディメンション測定用途」は、任意のクリティカルディメンション測定を含む。

【0214】

本明細書に記載される用語「計測システム」は、クリティカルディメンション計測、オーバーレイ計測、フォーカス／ドーセージ計測および組成計測等の測定用途を含む、試験片を任意の態様で特性評価するために少なくとも部分的に用いられる任意のシステムを含む。しかしながら、そのような技術用語は、本明細書に記載される用語「計測システム」の範囲を限定するものではない。さらに、計測システム100は、パターン付きウェハおよび／またはパターン付きでないウェハの測定向けに構成されてよい。計測システムは、LED検査ツール、エッジ検査ツール、バックサイド検査ツール、マクロ検査ツールまたはマルチモード検査ツール（1以上のプラットフォームからの同時のデータを含む）、および、クリティカルディメンションデータに基づくシステムパラメータの較正から益する任意のその他の計測または検査ツールとして構成されてよい。

40

【0215】

50

試験片を処理するために用いられ得る半導体処理システム（例えば、検査システムまたはリソグラフィシステム）向けの様々な実施形態が本明細書に記載されている。用語「試験片」は、本明細書において、ウェハ、レチクル、または当技術分野で知られる手段によって処理され得る（例えば、印刷される、または欠陥に関して検査される）任意のその他の試料を呼称するために用いられる。

【0216】

本明細書で用いられる用語「ウェハ」は、一般に半導体または非半導体材料から形成された基板を指す。例としては、限定はしないが、単結晶シリコン、ガリウム砒素、リン化インジウムを含む。そのような基板は半導体製作設備内で一般的に見出さ得る、および／または処理され得る。いくつかの場合には、ウェハは、基板のみ（すなわち、ベアウェハ）を含んでよい。代替的に、ウェハは、基板上に形成された異なる材料の1以上の層を含んでよい。ウェハ上に形成された1以上の層は、「パターン付き」でも「パターンなし」でもよい。例えば、ウェハは、反復可能なパターンフィーチャを有する複数のダイを含んでよい。

10

【0217】

「レチクル」は、レチクル製作プロセスの任意の段階におけるレチクルであってもよいし、あるいは、半導体製作設備内での使用向けにリリースされてもリリースされなくてもよい完成したレチクルであってもよい。レチクルまたは「マスク」は、その上に形成され、パターン状に構成された実質的に半透明な領域を有する実質的に透明な基板として一般に定義される。基板は、例えばアモルファス SiO_2 等のガラス材料を含んでよい。レチクルは、レチクル上のパターンがレジストに転写されるように、リソグラフィプロセスの露光ステップ中にレジストで被覆されたウェハの上に配置されてよい。

20

【0218】

ウェハ上に形成される1以上の層は、パターン付きでもパターンなしでもよい。例えば、ウェハは、反復可能なパターンフィーチャをそれぞれが有する複数のダイを含んでよい。そのような材料の層を形成し処理することが、最終的に完成した装置をもたらす得る。多くの異なるタイプの装置がウェハ上に形成されてよく、本明細書で用いる用語ウェハは、当技術分野で知られる任意のタイプのデバイスがその上に製作されるウェハを包含することを意図している。

【0219】

30

1つ以上の例示的实施形態では、記載される機能は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらのいずれかの組み合わせで実装され得る。ソフトウェアで実装される場合、機能は、1つ以上の命令またはコードとしてコンピュータ可読媒体上に記憶または伝送され得る。コンピュータ可読媒体は、コンピュータ記憶媒体とコンピュータプログラムの相互伝送を容易にする任意の媒体を含む通信媒体の両方を含む。記憶媒体は、汎用または専用コンピュータによりアクセスされ得る任意の利用可能な媒体であってよい。例として、そのようなコンピュータ可読媒体は、限定はしないが、RAM、ROM、EEPROM、CD-ROMまたは他の光学ディスク記憶体、磁気ディスク記憶体または他の磁気記憶装置、あるいは、命令またはデータ構造の形で所望のプログラムコード手段を搬送または記憶するのに用いることができ、汎用または専用コンピュータまたは汎用または専用プロセッサによりアクセスすることができる任意の他の媒体を含み得る。さらに、あらゆる接続が、正式にコンピュータ可読媒体と呼ばれる。例えば、ソフトウェアが、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、撚り線対、デジタルサブスクライバライン（DSL）、または赤外線、ラジオ、およびマイクロ波などの無線技術を用いてウェブサイト、サーバ、または他のリモートソースから伝送される場合、同軸ケーブル、光ファイバケーブル、撚り線対、DSL、または赤外線、ラジオおよびマイクロ波などの無線技術は媒体の定義に含まれる。ディスク（disk）およびディスク（disc）は、本明細書で用いられる場合、コンパクトディスク（CD）、レーザーディスク（登録商標）、光学ディスク、デジタル万能ディスク（DVD）、フロッピーディスクおよびブルーレイディスクを含み、ディスク（disk）は、通常、データを磁氣的に再生するが、ディスク（dis

40

50

c) は、レーザーを用いてデータを光学的に再生する。上記のものの組み合わせも、コンピュータ可読媒体の範囲内に含まれるべきである。

【0220】

ある特定の実施形態が教示目的のために上に記載されているが、本特許文書の教示内容は、一般的な適用可能性を有し、上に記載された特定の実施形態に限定されない。したがって、本請求項に記載されるような本発明の範囲から逸脱せずに、記載された実施形態の様々な特徴の様々な変更、適用、および組み合わせを實踐することができる。

【図 1】

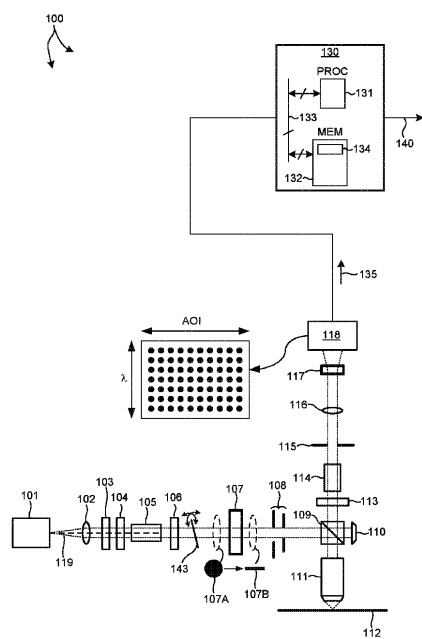


FIG. 1

【図 2】

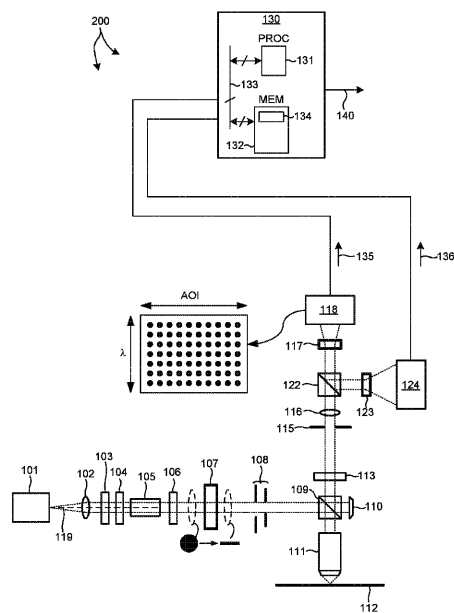


FIG. 2

【図 3】

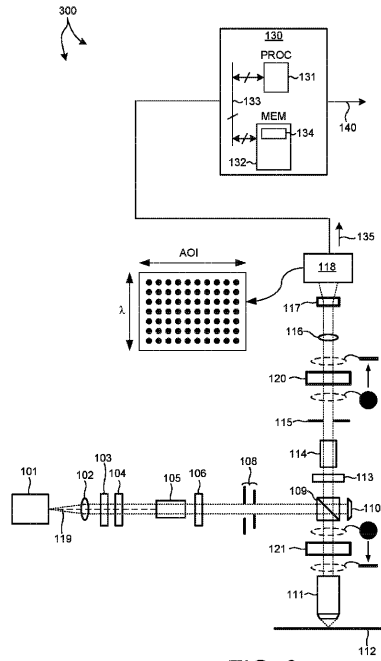
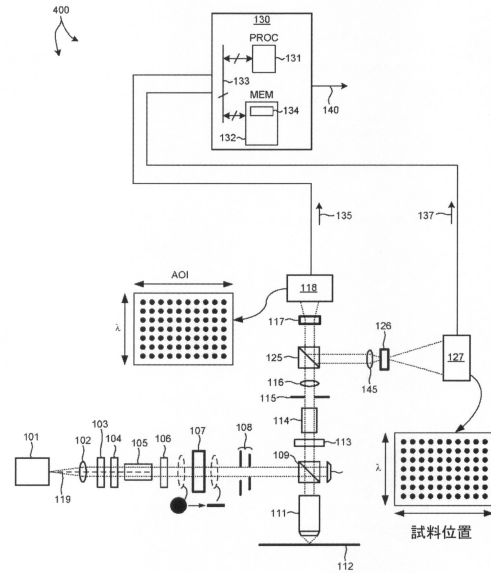


FIG. 3

【図 4】



【図 5】

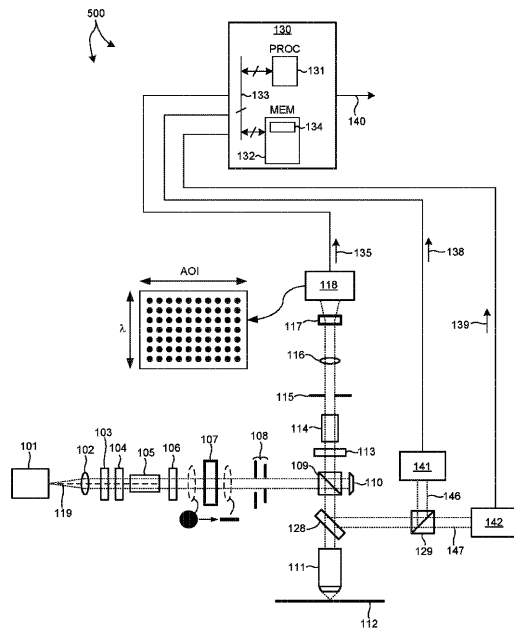
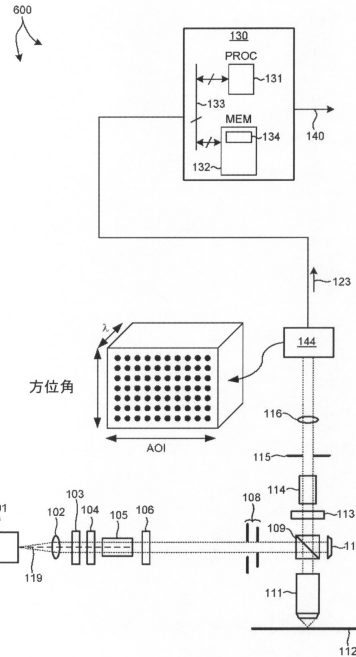


FIG. 5

【図 6】



【図 7 A】

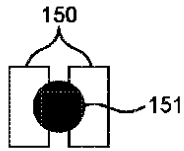


FIG. 7A

【図 7 C】

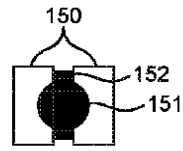


FIG. 7C

【図 7 B】

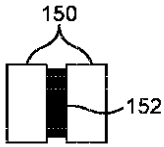


FIG. 7B

【図 7 D】

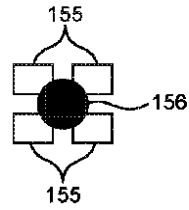


FIG. 7D

【図 7 E】

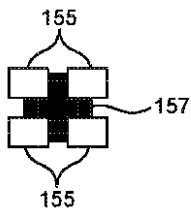


FIG. 7E

【図 8 A】

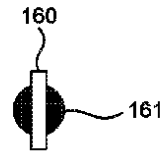


FIG. 8A

【図 7 F】

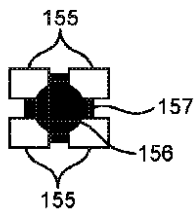


FIG. 7F

【図 8 B】

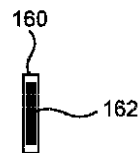


FIG. 8B

【図 8 C】

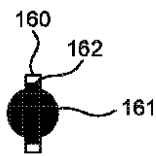


FIG. 8C

【図 8 E】

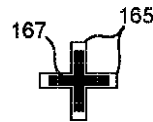


FIG. 8E

【図 8 D】

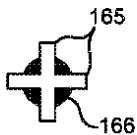


FIG. 8D

【図 8 F】

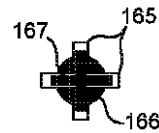


FIG. 8F

【図 9 A】

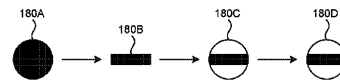


FIG. 9A

【図 9 B】

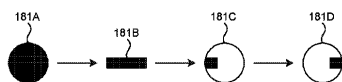


FIG. 9B

【図 10 C】

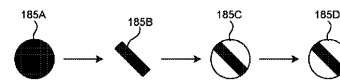
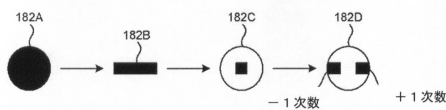


FIG. 10C

【図 9 C】



【図 11 A】



FIG. 11A

【図 10 A】

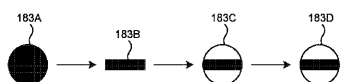


FIG. 10A

【図 11 B】

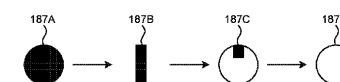


FIG. 11B

【図 10 B】

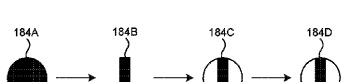


FIG. 10B

【図 12 A】

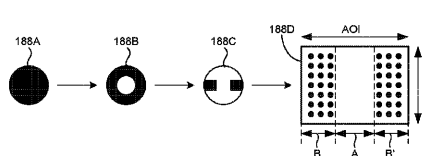


FIG. 12A

【図 1 2 B】

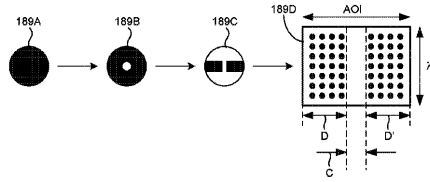


FIG. 12B

【図 1 3】

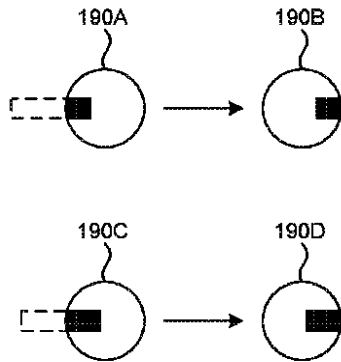


FIG. 13

【図 1 4】

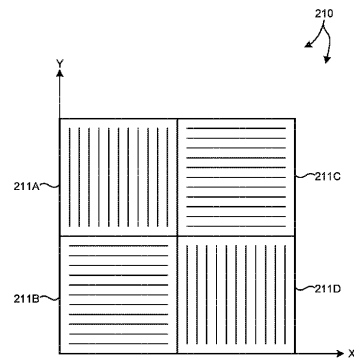


FIG. 14

【図 1 5】

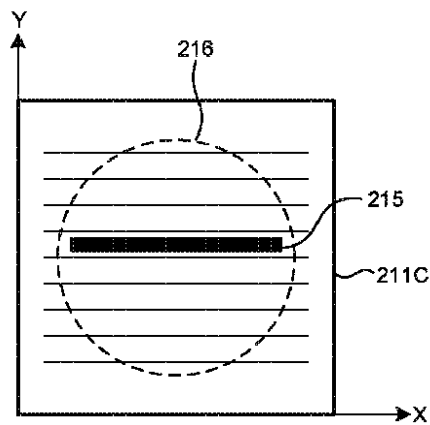
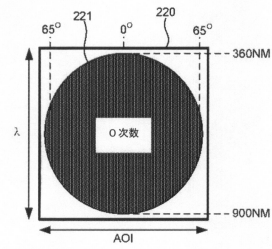
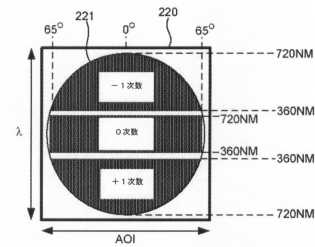


FIG. 15

【図 1 7】



【図 1 8】



【図 1 9】

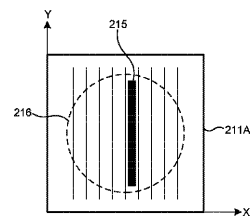
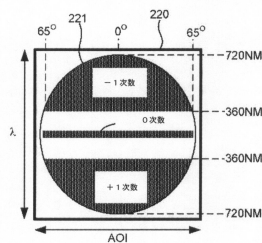
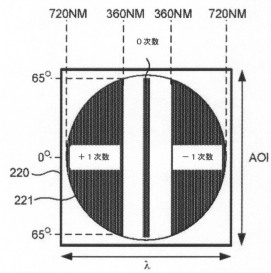


FIG. 19

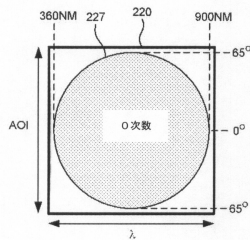
【図 1 6】



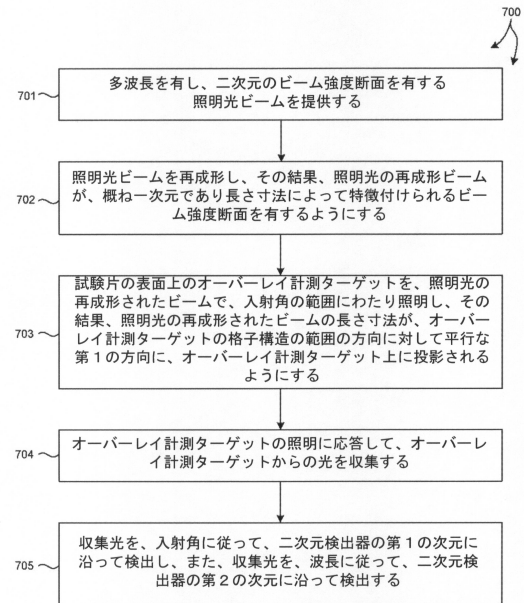
【図 20】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

- (72)発明者 ペーターリンツ ケビン エイ
アメリカ合衆国 カリフォルニア フレモント ティンパノガス サークル 38420
- (72)発明者 パンデブ スティリアン イヴァノブ
アメリカ合衆国 カリフォルニア サンタ クララ レベッカ リン ウェイ 2452

審査官 小池 英敏

- (56)参考文献 特開2012-104586 (JP, A)
特表平09-504861 (JP, A)
特開2013-061185 (JP, A)
国際公開第2015/113724 (WO, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|--------|
| H01L | 21/66 |
| G01B | 11/25 |
| G01N | 21/956 |