

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4458855号
(P4458855)

(45) 発行日 平成22年4月28日 (2010.4.28)

(24) 登録日 平成22年2月19日 (2010.2.19)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 B 9/02 (2006.01) GO 1 B 9/02
GO 1 B 11/00 (2006.01) GO 1 B 11/00 G
HO 1 L 21/027 (2006.01) HO 1 L 21/30 5 O 3 A

請求項の数 34 (全 42 頁)

(21) 出願番号	特願2003-584612 (P2003-584612)	(73) 特許権者	500152957
(86) (22) 出願日	平成15年4月4日 (2003.4.4)		ザイゴ コーポレイション
(65) 公表番号	特表2005-522683 (P2005-522683A)		アメリカ合衆国 コネチカット 0645
(43) 公表日	平成17年7月28日 (2005.7.28)		5-0448, ミドルフィールド, ロ
(86) 国際出願番号	PCT/US2003/010212		ーレル ブルック ロード (番地なし)
(87) 国際公開番号	W02003/087710	(74) 代理人	100078282
(87) 国際公開日	平成15年10月23日 (2003.10.23)		弁理士 山本 秀策
審査請求日	平成17年12月28日 (2005.12.28)	(74) 代理人	100062409
(31) 優先権主張番号	60/371,172		弁理士 安村 高明
(32) 優先日	平成14年4月9日 (2002.4.9)	(74) 代理人	100113413
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 森下 夏樹
(31) 優先権主張番号	10/217,531	(72) 発明者	ヒル, ヘンリー アレン
(32) 優先日	平成14年8月13日 (2002.8.13)		アメリカ合衆国 アリゾナ 85716,
(33) 優先権主張国	米国 (US)		トックソン, サウス アベニダ デ パルマス 340

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ステージ・ミラーのマッピングのための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

並進ステージと、

少なくとも2つの直交する方向のうちの少なくとも1つの方向に前記並進ステージを選択的に並進させる電気機械的装置と、

前記並進ステージに対して所定の仕方でマウントされている少なくとも1つのミラーであって、反射面を有する少なくとも1つのミラーと、

複数の測定ビームを生成する干渉計手段であって、少なくとも1つの方向における前記並進ステージの変位と前記少なくとも1つのミラーの前記反射面のそれぞれの領域の局所的な傾斜とを測定するために、前記複数の測定ビームのそれぞれが前記反射面のそれぞれの領域上に投影されるように構成され配置されている、干渉計手段と、

動作モードを有する制御手段であって、前記制御手段は、前記動作モードにおいて、前記並進ステージと前記少なくとも1つのミラーと前記干渉計手段とを互いに対して選択的に並進させ、それにより、前記干渉計手段の前記複数の測定ビームのうちの選択されたいくつかの測定ビームのそれぞれが前記少なくとも1つのミラーの前記反射面のそれぞれの領域を少なくとも1つの対応する基準線に沿って走査するようにして、その走査方向に直交する表面法線を有する少なくとも1つの平面における前記少なくとも1つの対応する基準線に沿う前記少なくとも1つのミラーの前記反射面の走査されたそれぞれの領域の局所的な傾斜を示す情報を含む少なくとも1つの信号を生成する、制御手段と、

前記少なくとも1つの信号に含まれる前記情報を抽出し、前記少なくとも1つのミラー

の局所的な形状を決定する信号および分析手段とを含む、干渉分光装置。

【請求項 2】

前記少なくとも 1 つの信号は、前記少なくとも 1 つの平面における前記反射面の位置を前記少なくとも 1 つの基準線に沿う走査位置の関数として示す情報をさらに含む、請求項 1 に記載の干渉分光装置。

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの信号は、前記少なくとも 1 つの平面における前記反射面の平均の傾斜を前記少なくとも 1 つの基準線に沿う走査位置の関数として示す情報をさらに含む、請求項 1 に記載の干渉分光装置。

10

【請求項 4】

前記少なくとも 1 つの信号は、前記少なくとも 1 つの平面における前記反射面の位置および平均の傾斜を前記少なくとも 1 つの基準線に沿う走査位置の関数として示す情報をさらに含む、請求項 1 に記載の干渉分光装置。

【請求項 5】

前記複数の測定ビームは、少なくとも一対の測定ビームを含み、前記少なくとも一対の測定ビームのうちの各測定ビームは、所定の直径を有し、互いに所定の距離だけ間隔をあけて前記走査方向に沿って配置されている、請求項 1 に記載の干渉分光装置。

【請求項 6】

前記干渉計手段は、少なくとも 1 つの角度測定用干渉計を含み、前記少なくとも一対の測定ビームは、前記少なくとも 1 つの平面における前記反射面の平均の傾斜を前記少なくとも 1 つの基準線に沿う走査位置の関数として測定することができる情報を提供するように構成され配置されており、前記少なくとも一対の測定ビームのうちの測定ビームの一方の少なくとも一部は、前記平面内の前記基準線に沿う前記ミラーの局所的な傾斜を測定するために前記ミラーによって一度反射された後で、前記角度測定用干渉計によって受け取られる、請求項 5 に記載の干渉分光装置。

20

【請求項 7】

前記干渉計手段は、少なくとも 1 つの角度測定用干渉計を含み、前記少なくとも一対の測定ビームは、前記反射面上への前記測定ビームの投影に対応する点での前記反射面の位置に関する情報を提供するように構成され配置されており、前記少なくとも一対の測定ビームのうちの測定ビームの一方の少なくとも一部は、前記平面内の前記基準線に沿う前記ミラーの局所的な傾斜を測定するために前記ミラーによって一度反射された後で、前記角度測定用干渉計によって受け取られる、請求項 5 に記載の干渉分光装置。

30

【請求項 8】

前記干渉計手段は、高安定性平面鏡干渉計、受動的微分ゼロ・シャー干渉計、能動的ゼロ・シャー干渉計、角度干渉計からなる群から選択される 1 つまたは複数の干渉計を含む、請求項 1 に記載の干渉分光装置。

【請求項 9】

前記信号および分析手段は、前記少なくとも 1 つのミラーの局所的な形状を、積分変換、フーリエ分析、直交関数分析、多項式展開からなる群から選択される数学的な手順を用いて決定するように構成されている、請求項 1 に記載の干渉分光装置。

40

【請求項 10】

前記少なくとも 1 つのミラーは、前記並進ステージと一緒に移動するように前記並進ステージにマウントされており、前記干渉計手段は、前記並進ステージから離れてマウントされている、請求項 1 に記載の干渉分光装置。

【請求項 11】

前記干渉計手段は、前記並進ステージと一緒に移動するように前記並進ステージにマウントされており、前記少なくとも 1 つのミラーは、前記並進ステージから離れてマウントされている、請求項 1 に記載の干渉分光装置。

【請求項 12】

50

前記制御手段は、前記並進ステージの動きが基準座標系に対する少なくとも1つの方向で測定される他の動作モードを有するように構成され配置されている、請求項1に記載の干渉分光装置。

【請求項13】

前記複数の測定ビームは、少なくとも二対の測定ビームを含み、各対は、2つの測定ビームを含み、前記2つの測定ビームは、所定の直径を有し、かつ、前記走査方向に沿って互いに所定の距離だけ離れており、各対は、前記走査方向に垂直な方向において互いにずれている、請求項1に記載の干渉分光装置。

【請求項14】

前記干渉分光装置は、直交方向における前記並進ステージの変位と前記少なくとも1つのミラーの表面に直交する少なくとも1つの他のミラーの表面の少なくとも局所的な傾斜とを測定するために、前記複数の測定ビームのうち予め選択されたいくつかのビームが互いに直交に配置されるように、前記複数の測定ビームを生成するように構成され配置されている、請求項1に記載の干渉分光装置。

【請求項15】

2つ以上の直交配置されたミラーをさらに含み、対応する干渉計手段は、前記並進ステージに対して所定の仕方でマウントされており、前記2つ以上の直交配置されたミラーのそれぞれが前記干渉計手段のうちの前記対応する1つに対して移動する一方で、前記制御手段が前記ミラーの局所的な形状を測定するために前記動作モード内にある、請求項1に記載の干渉分光装置。

【請求項16】

前記少なくとも1つのミラーは、前記並進ステージに対して45度で配置されている反射面を有する、請求項1に記載の干渉分光装置。

【請求項17】

前記並進ステージ上に配置され、前記並進ステージと一緒に移動する少なくとも1つのフォトリソグラフィ・ウェハ・マウントをさらに含む、請求項1に記載の干渉分光装置。

【請求項18】

基準座標系にマウントされ、前記並進ステージ上に配置されたウェハ上にマスクされたパターンを形成するフォトリソグラフィ露光ユニットをさらに含む、請求項17に記載の干渉分光装置。

【請求項19】

少なくとも1つのミラーを並進ステージに対して所定の仕方でマウントするステップであって、前記少なくとも1つのミラーは反射面を有する、ステップと、

少なくとも2つの直交する方向の少なくとも1つの方向に前記並進ステージを選択的に並進させるステップと、

複数の干渉分光測定ビームを生成するステップであって、少なくとも1つの方向における前記並進ステージの変位と前記少なくとも1つのミラーの前記反射面のそれぞれの領域の局所的な傾斜とを測定するために、前記複数の干渉分光測定ビームのそれぞれが前記反射面のそれぞれの領域上に投影されるように構成され配置されている、ステップと、

第1の動作モードにおいて前記並進ステージと前記少なくとも1つのミラーと前記複数の干渉分光測定ビームとを互いに対して選択的に並進させ、それにより、前記複数の干渉分光測定ビームのうちの選択されたいくつかの干渉分光測定ビームのそれぞれが前記少なくとも1つのミラーの前記反射面のそれぞれの領域を少なくとも1つの対応する基準線に沿って走査するようにして、その走査方向に直交する表面法線を有する少なくとも1つの平面における前記少なくとも1つの対応する基準線に沿う前記少なくとも1つのミラーの前記反射面のそれぞれの領域の局所的な傾斜を示す情報を含む少なくとも1つの信号を生成するステップと、

前記少なくとも1つの信号を分析することにより、前記少なくとも1つの信号に含まれる前記情報を抽出し、前記少なくとも1つのミラーの局所的な形状を決定するステップとを含む、干渉分光法。

10

20

30

40

50

【請求項 20】

前記少なくとも1つの信号は、前記少なくとも1つの平面における前記反射面の位置を前記少なくとも1つの基準線に沿う走査位置の関数として示す情報をさらに含む、請求項19に記載の干渉分光法。

【請求項 21】

前記少なくとも1つの信号は、前記少なくとも1つの平面における前記反射面の平均の傾斜を前記少なくとも1つの基準線に沿う走査位置の関数として示す情報をさらに含む、請求項19に記載の干渉分光法。

【請求項 22】

前記少なくとも1つの信号は、前記少なくとも1つの平面における前記反射面の位置および平均の傾斜を前記少なくとも1つの基準線に沿う走査位置の関数として示す情報をさらに含む、請求項19に記載の干渉分光法。

10

【請求項 23】

前記複数の干渉分光測定ビームは、少なくとも一对の干渉分光測定ビームを含み、少なくとも一对の干渉分光測定ビームのうちの各干渉分光測定ビームは、所定の直径を有し、互いに所定の距離だけ間隔をあけて前記走査方向に沿って配置されている、請求項19に記載の干渉分光法。

【請求項 24】

前記少なくとも一对の干渉分光測定ビームは、前記少なくとも1つの平面における前記反射面の平均の傾斜を前記少なくとも1つの基準線に沿う走査位置の関数として測定することができる情報を提供するように構成され配置されており、前記少なくとも一对の干渉分光測定ビームのうちの干渉分光測定ビームの一方の少なくとも一部は、前記平面内の前記基準線に沿う前記ミラーの局所的な傾斜を測定するために前記ミラーによって一度反射された後で、角度測定用干渉計によって受け取られる、請求項23に記載の干渉分光法。

20

【請求項 25】

前記少なくとも一对の干渉分光測定ビームは、前記反射面上への前記干渉分光測定ビームの投影に対応する点での前記反射面の位置に関する情報を提供するように構成され配置されており、前記少なくとも一对の干渉分光測定ビームのうちの干渉分光測定ビームの一方の少なくとも一部は、前記平面内の前記基準線に沿う前記ミラーの局所的な傾斜を測定するために前記ミラーによって一度反射された後で、角度測定用干渉計によって受け取られる、請求項23に記載の干渉分光法。

30

【請求項 26】

前記複数の干渉分光測定ビームは、高安定性平面鏡干渉計、受動的微分ゼロ・シャー干渉計、能動的ゼロ・シャー干渉計、角度干渉計からなる群から選択される1つまたは複数の干渉計を含む干渉計手段によって提供される、請求項19に記載の干渉分光法。

【請求項 27】

前記分析ステップは、前記少なくとも1つのミラーの局所的な形状を、積分変換、フーリエ分析、直交関数分析、多項式展開からなる群から選択される数学的な手順を用いて決定する、請求項19に記載の干渉分光法。

【請求項 28】

前記並進ステージの動きが基準座標系に対する少なくとも1つの方向で測定される他の動作モードをさらに含む、請求項19に記載の干渉分光法。

40

【請求項 29】

前記複数の干渉分光測定ビームは、少なくとも二対の干渉分光測定ビームを含み、前記少なくとも二対の干渉分光測定ビームの各対は、2つの干渉分光測定ビームを含み、前記2つの干渉分光測定ビームは、所定の直径を有し、かつ、前記走査方向に沿って互いに所定の距離だけ離れており、前記少なくとも二対の干渉分光測定ビームの各対は、前記走査方向に垂直な方向において互いにずれている、請求項19に記載の干渉分光法。

【請求項 30】

前記複数の干渉分光測定ビームは、直交方向における前記並進ステージの変位と前記少

50

なくとも1つのミラーの表面に直交する少なくとも1つの他のミラーの表面の少なくとも局所的な傾斜とを測定するために、前記複数の干渉分光測定ビームのうち予め選択されたいくつかの干渉分光測定ビームが互いに直交に配置されるように構成され配置されている、請求項19に記載の干渉分光法。

【請求項31】

2つ以上の直交配置されたミラーを前記並進ステージ上にマウントするステップをさらに含み、前記2つ以上の直交配置されたミラーのそれぞれは、前記複数の干渉分光測定ビームのうち対応する干渉分光測定ビームに対して移動する一方で、前記第1の動作モードにおいて前記ミラーの局所的な形状を測定する、請求項19に記載の干渉分光法。

【請求項32】

前記少なくとも1つのミラーは、前記並進ステージに対して45度でマウントされている反射面を有する、請求項31に記載の干渉分光法。

【請求項33】

少なくとも1つのフォトリソグラフィ・ウェハを前記並進ステージと一緒に移動するように前記並進ステージ上にマウントするステップをさらに含む、請求項19に記載の干渉分光法。

【請求項34】

ウェハの上にマスクされたパターンを形成するように前記ウェハを前記並進ステージ上に配置する一方で、前記ウェハを少なくとも一度露光するステップをさらに含む、請求項33に記載の干渉分光法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に干渉分光法に関し、特にフォトリソグラフィ・ステージ・ミラーなどの局所的な表面特性を干渉分光法的にその場でまたはオフ・ステージで測定して、距離測定精度を増加させるための補正信号を与えることができる干渉分光装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

干渉分光法は、良く確立された計測学であり、マイクロ加工プロセスにおいて多くの重要な寸法を測定および制御するために広く用いられている。これは特に、精度に対する要求が、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の重要な寸法の10~40%である半導体製造などにおいて重要である。

【0003】

半導体材料で形成される集積回路は、異なる材料の層をシリコン・ウェハ上に連続して堆積およびパターンングすることによって作製されるが、シリコン・ウェハは通常は、デカルトx-y座標を有する平坦な露光面内にある。この座標には垂直なz方向が存在する。パターンング・プロセスは、フォトレジストの露光および現像の組み合わせ、続いてその下の層のエッチングおよびドーピング、続いてその後の層の堆積からなる。このプロセスの結果、複雑で、またミクロン規模で非常に不均質な材料構造が、ウェハ表面上にできる。

【0004】

通常は、それぞれのウェハには、「フィールド」と言われる同じパターンの複数のコピーが含まれており、これらはウェハ上に、公称上は「グリッド」として知られる直線的分布で配列している。しばしば、しかし常にではないが、それぞれのフィールドは単一の「チップ」に対応している。

【0005】

露光プロセスは、次の層パターンの画像を、ウェハ上にスピンされたフォトレジスト上（およびフォトレジスト内）に投影することからなる。集積回路が適切に機能するためには、連続的に投影された画像がそれぞれ、すでにウェハ上にあるパターンと正確にマッチ

10

20

30

40

50

ングしなければならない。すでにウェハ上にあるパターンの位置、方位、および歪みを決定した後、パターンを投影画像に対して正確な関係に配置するプロセスを、「アラインメント」と言う。実際の成果、すなわち連続してパターンニングされた層がそれぞれ、どれほど正確に以前の層とマッチングされているかは、「オーバーレイ」と言われる。

【0006】

一般に、アラインメント・プロセスでは、すでに存在するパターンの実際の形状にマッチングさせるために、ウェハおよび/または投影画像のみならず画像の一部の歪みについても、並進および回転の両方によるポジショニングが必要である。あるパターンを他のパターン上に得るためには、ウェハおよび画像を正確にポジショニングする必要があるという事は、明らかである。画像を実際に歪ませることが必要となる場合も多い。他の効果、たとえば熱および振動についても、補正が必要であることが考えられる。

10

【0007】

このすべての正味の結果は、ウェハ上にプリントされた第1のレベルのパターンの形状が理想的ではなく、その後のすべてのパターンを、可能な範囲内で、第1のレベルのプリントされたパターンの全体的な形状に合うように調整しなければならないということである。露光ツールごとにこれらの効果を補償する能力は異なるが、一般的に、補償できる歪みまたは形状の変動にはxおよびyの拡大およびスキューが含まれる。これらの歪みを、並進および回転と組み合わせれば、変換の完全な組が構成される。

【0008】

問題は、すでにウェハ上にあるパターンに投影画像を連続してマッチングさせることであり、単にウェハそれ自体をポジショニングすることではない。そのため、露光ツールは、ウェハ・パターン自体および投影画像の両方の相対的な位置、方位、および歪みを、効果的に検出するかまたは推測できなくてはならない。

20

【0009】

回路パターン自体を直接検出することは難しい。そのため基準のマークまたは「アラインメント・マーク」を回路パターンに加えることによって、アラインメントが行なわれる。これらのアラインメント・マークを用いて、レチクルの位置、方位、および歪み、ならびに/または投影画像の位置、方位、および歪みを決定することができる。またアラインメント・マークをウェハ上に回路パターンに沿ってプリントすることもできるため、アラインメント・マークを用いて、ウェハ・パターンの位置、方位、および歪みを決定することができる。

30

【0010】

アラインメント・マークは一般的に、レチクル上の1つまたは複数の透明なまたは不透明な線からなり、これらの線は、ウェハ上にプリントされたときに「トレンチ」または「メサ」になる。しかし、より複雑な構造、たとえばグレーティング(トレンチおよび/またはメサの単純な周期的なアレイである)ならびにチェックボード・パターンも、用いられる。通常はアラインメント・マークがそれぞれのフィールドの「カーフ」のエッジに沿って配置されるか、またはいくつかの「マスタ・マーク」がウェハ全面に分散される。アラインメント・マークは必要ではあるが、チップ回路の一部ではない。したがってチップ製造業者からすれば、アラインメント・マークは、貴重なウェハ領域または「不動産」を浪費していることになる。この結果、アラインメント・マークをできるだけ小さくすることが進められ、一方の面上で数100ミクロンを下回ることが多い。

40

【0011】

アラインメント・マークを「見る」ために、アラインメント・センサが露光ツールに取り入れられている。一般に、ウェハ、レチクル、および/または投影画像それ自体に対して、別個のセンサが存在する。全体的なアラインメント・ストラテジに応じて、これらのセンサは、全体として別個のシステムであっても良いし、効果的に組み合わせられて単一のセンサとなっても良い。たとえば、投影画像を直接見ることができるセンサは、公称上はウェハ・マークに関しては「盲目」であるため、別個のウェハ・センサが要求される。しかしウェハをレチクル・アラインメント・マーク自体を通して「見る」センサは、本

50

質的にレチクルとウェハとのアラインメントを同時に行なっている。したがって別個のレチクル・センサを必要としない。この場合、投影画像内のアラインメント・マークの位置は、レチクル・アラインメント・マークの位置から推測されており、画像位置に対するレチクルの注意深い校正が、アラインメント・ステップの前に行なわれているはずであることに注意されたい。

【0012】

さらに、前述したように、本質的にすべての露光ツールにおいて、ウェハ・アラインメント・マークを光学的に検出するセンサが用いられている。すなわち、センサが光を1つまたは複数の波長でウェハ上に投影して、アラインメント・マークからの散乱/回折をウェハ面内の位置の関数として検出する。多くのタイプのアラインメント・センサが広く使
10
われており、それらの光学的な構成は、簡単な顕微鏡からヘテロダイン・グレーティング干渉計までのすべての機能を網羅している。またセンサ構成によって、所定のウェハ・タイプに対する動作が良かったり悪かったりするため、ほとんどの露光ツールには複数のセンサ構成が設けられており、できるだけ広い範囲のウェハ・タイプに対して良好なオーバーレイが可能となるようになっている。

【0013】

アラインメント・センサの全体としての役目は、ウェハ上のすべてのアラインメント・マークの所定の各サブセットの位置を、露光ツールに対して固定された座標系において決定することである。次にこれらの位置データを、「グローバル」および「フィールド・バイ・フィールド」と言われる2つの一般的な方法のいずれかで用いて、アラインメントを
20
行なう。

【0014】

グローバル・アラインメントでは、単に数フィールドにおけるマークの場所をアラインメント・センサによって確認し、データをベスト・フィットするように組み合わせ、ウェハ上のすべてのフィールドの最適なアラインメントを決定する。フィールド・バイ・フィールド・アラインメントでは、単一のフィールドから収集したデータを用いて、そのフィールドだけをアラインメントする。通常、グローバルなアラインメントの方が早く（ウェハ上のすべてのフィールドの場所を確認するわけではないため）、またノイズに対する感度が低い（すべてのデータを一緒に組み合わせ、ベストな全体的フィットを見つけるため）。しかしベスト・フィットの結果をフィールド・フォワードまたは推測航法アプローチに
30
おいて用いるため、露光ツールの全体的なオプトメカニカルな安定性には依拠しない。

【0015】

アラインメントは一般に、2ステップ・プロセスとして行なわれる。すなわち、微細なアラインメント・ステップ（数10ナノメートルの精度）を、初期の粗いアラインメント・ステップ（マイクロメートルの精度）の後に行なう。アラインメントは、ウェハを6つの自由度（3つの並進および3つの回転）すべてにおいてポジショニングする必要がある。しかしウェハを調整してウェハが投影画像面内にくるようにすること、すなわちウェハをレベリングして投影画像をフォーカスすることは、1つの並進自由度（光軸、z軸、またはx-yウェハの方位に垂直な平行線に沿っての動き）と2つの回転自由度（ウェハ面を回転させて投影画像面に平行にする）とを含んでいるが、これは一般的にはアラインメントとは別個であると考えられる。
40

【0016】

アラインメントについて述べるときには普通、面内の並進（2つの自由度）および投影光軸の周りの回転（1つの自由度）のみを意味する。このように用語法で分ける理由は、要求される精度が違ふからである。面内の並進および回転に対して要求される精度は一般に、数10ナノメートルのオーダからナノメートルのオーダまで、またはウェハ上にプリントすべき最小限の特徴サイズまたは重要な寸法（CD）の約20~30%である必要がある。現在の最先端のCD値は100nmのオーダであり、したがって要求されるアラインメント精度は100nmをはるかに下回っている。一方で、面外での並進および回転に対して要求される精度は、露光ツールのフォーカスの使用できる全体の深さに関係してお
50

り、一般にCD値により近い。したがって、面外でのウェハのフォーカシングおよびレベリングで要求される精度は、面内のアラインメントの場合よりも低い。同様に、フォーカシングおよびレベリング用のセンサは通常、「アラインメント・センサ」とは完全に別個であり、フォーカシングおよびレベリングは通常、ウェハ上のパターンには依拠しない。ウェハ表面またはその代用物のみを検出する必要がある。それにもかかわらず、このことは依然として、とりわけウェハ上方の光学的な投影システムの垂直位置（高度）についての正確な知識を必要とする重要な課題である。

【0017】

アラインメントを行なう際には、平面鏡干渉計、受動的ゼロ・シャー干渉計、および能動的ビーム・ステアリング部材を有する干渉計、すなわち能動的ゼロ・シャー干渉計、を用いることが知られている。能動的および受動的ゼロ・シャー干渉計では、距離測定の精度が、ビーム・コンディショニングを用いることによって増大されることで、距離情報を伝えるビームが適切にアライメントされて最適な信号が得られることが保証される。受動的ゼロ・シャー干渉計に関しては、平面鏡測定対象物が、ビーム・コンディショナ内の部材として用いられる。このような干渉計に対しては、たとえば以下の文献を参照されたい。米国仮特許出願第60/314、345号明細書、発明の名称「角度敏感なビーム・スプリッタを用いる受動的ゼロ・シャー干渉計」（2001年8月23日に出願）、現時点では、米国特許出願第10/207、314号明細書、発明の名称「受動的ゼロ・シャー干渉計」（2002年7月29日に出願）、米国仮特許出願第60/314、568号明細書、発明の名称「ゼロ・シャー平面鏡干渉計」（2001年8月23日に出願）、現時点では、米国特許出願第10/227、167号明細書、発明の名称「複数光路干渉分光法」（2002年8月23日に出願）、米国仮特許出願第60/314、569号明細書、発明の名称「ゼロ・シャー非平面鏡干渉計」（2001年8月23日に出願）、現時点では、米国特許出願第10/227、166号明細書、発明の名称「光学的な干渉分光法」（2002年8月23日に出願）、米国仮特許出願第60/352、425号明細書、発明の名称「低減された微分ビーム・シャー複数自由度干渉計」（2002年1月28日に出願）、現時点では、米国特許出願第10/352、616号明細書、発明の名称「複数光路干渉分光法」（2003年1月28日に出願）。

【0018】

能動的ゼロ・シャー干渉計では、動的な部材がビーム・コンディショナ内で用いられ、動的な部材の角度方向がフィードバックおよび/またはフィード・フォワード装置を介して制御されることで、距離情報を伝えるビームが適切にアライメントされて最適な信号が得られることが保証される。このような干渉計は、たとえば以下の文献において知られている。共通所有の国際特許出願PCT/US00/12097号明細書（2000年5月5日に出願）、発明の名称「角度および距離を測定するための動的なビーム・ステアリング・アセンブリを有する干渉分光システム」および2000年11月19日に公開（WO00/66969）、共通所有の米国仮特許出願第60/314、570号明細書（2001年8月23日出願）、発明の名称「入力ビームの方向を制御する動的な干渉計」、現時点では、米国特許出願第10/226、591号明細書（2001年8月23日に出願）および2003年6月23日に公開（US-2003-0043384）、米国仮特許出願第60/356、393号明細書（2002年2月12日に出願）、発明の名称「入力測定ビーム成分および出力基準ビーム成分を向けなおす動的なビーム・ステアリング部材を有する干渉計」、現時点では、米国特許出願第10/364、666号明細書（2003年2月11日に出願）、発明の名称「動的なビーム・ステアリング部材を有する干渉計」。なお3つの出願はすべて、（ヘンリA・ヒル）（Henry A. Hill）の名義である。

【0019】

しかし受動的ゼロ・シャーおよび能動的ゼロ・シャー干渉計の場合でさえ、ステージ・ミラーが種々の動きを経るときに、種々の反射部材の形状が、距離および角度測定において達成可能な精度に影響を与える。種々の反射部材の形状が、達成可能な精度に影響を与

10

20

30

40

50

える理由は、光学経路における反射部材の傾斜変化が、光学経路の長さおよびビーム方向に影響を及ぼすからである。通常は、このような反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの形状を、オフ・ステージでキャラクタライズした後に、反射部材をオン・ステージでマウントする。しかしこれは受け入れられない場合が多い。と言うのは、オフ・ステージでキャラクタリゼーションする精度が十分ではなく、および/またはマウンティング・プロセス自体によって部材の形状がその検査される形状と比べて歪み、およびこの形状の変化によって測定誤差が導入される可能性があるからである。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0020】

したがって本発明の目的は、オン・ステージの反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの表面トポグラフィのマップを、その場およびオフ・ステージで高い空間分解能で測定して、反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する補正信号を生成するかまたは補正信号の精度をチェックすることができる干渉分光装置および方法であって、干渉分光装置は一体型の光学的アセンブリを含んでいても良い、干渉分光装置および方法を提供することである。

【0021】

本発明の他の目的は、オン・ステージの反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの表面トポグラフィのマップを、その場およびオフ・ステージで高い空間分解能で測定して、反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する補正信号を生成するかまたは補正信号の精度をチェックすることができる干渉分光装置および方法であって、1つまたは2つの直交する軸において走査することのみが要求され、干渉分光装置は一体型の光学的アセンブリを含んでいても良い、干渉分光装置および方法を提供することである。

【0022】

本発明の他の目的は、オン・ステージの反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの表面トポグラフィのマップを、その場およびオフ・ステージで高い空間分解能で測定して、直交する面内に配置された反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する補正信号を生成するかまたは補正信号の精度をチェックすることができる干渉分光装置および方法であって、干渉分光装置は一体型の光学的アセンブリを含んでいても良い、干渉分光装置および方法を提供することである。

【0023】

本発明の他の目的は、オン・ステージの反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの表面トポグラフィのマップを、その場およびオフ・ステージで高い空間分解能で測定して、直交する面内に配置された反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する補正信号を生成するかまたは補正信号の精度をチェックすることができる干渉分光装置および方法であって、1つまたは2つの直交する軸において走査することのみが要求され、干渉分光装置は一体型の光学的アセンブリを含んでいても良い、干渉分光装置および方法を提供することである。

【0024】

発明のさらに他の目的は、平面鏡干渉計、受動的ゼロ・シャー干渉計、および能動的ゼロ・シャー干渉計の動作特性から生成される情報を用いることによって、オン・ステージの反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの形状をその場およびオフ・ステージで測定して、基準線によって表わされる反射面の高空間分解能のマップを生成することができる、このマップをその後用いて、反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する補正信号を生成することである。干渉計は、一体型の光学的アセンブリを含んでいても良い。

【0025】

発明のさらに他の目的は、平面鏡干渉計、受動的ゼロ・シャー干渉計、および能動的ゼロ・シャー干渉計の動作特性から生成される情報を用いることによって、オン・ステージ

10

20

30

40

50

の反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの形状をその場でおよびオフ・ステージで測定して、基準線によって表わされる反射面の高空間分解能のマップを生成することができ、このマップをその後用いて、反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する補正信号を生成できることである。1つまたは2つの直交する軸において走査することのみが要求され、干渉計は、一体型の光学的アセンブリを含んでいても良い。

【0026】

発明のさらに他の目的は、平面鏡干渉計、受動的ゼロ・シャー干渉計、および能動的ゼロ・シャー干渉計の動作特性から生成される情報を用いることによって、オン・ステージの反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの形状をその場でおよびオフ・ステージで測定して、反射面の表面上の基準線と基準線の周りの表面の局所的な回転とを含む反射面の高空間分解能マップを生成することができ、このマップをその後用いて、反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する補正信号を生成できることである。干渉計は、一体型の光学的アセンブリを含んでいても良い。

10

【0027】

発明のさらに他の目的は、平面鏡干渉計、受動的ゼロ・シャー干渉計、および能動的ゼロ・シャー干渉計の動作特性から生成される情報を用いることによって、オン・ステージの反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの形状をその場でおよびオフ・ステージで測定して、反射面の表面上の基準線と基準線の周りの表面の局所的な回転とを含む反射面の高空間分解能マップを生成することができ、このマップをその後用いて、反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する補正信号を生成できることである。1つまたは2つの直交する軸において走査することのみが要求され、干渉計は、一体型の光学的アセンブリを含んでいても良い。

20

【0028】

本発明のさらに他の目的は、オン・ステージの反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの形状をその場でおよびオフ・ステージで測定して、反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する高空間分解能補正信号を生成することができる干渉分光装置および方法であって、干渉分光装置は一体型の光学的アセンブリを含んでいても良い、干渉分光装置および方法を提供することである。

【0029】

本発明のさらに他の目的は、オン・ステージの反射部材たとえば薄い高アスペクト比ミラーの形状をその場でおよびオフ・ステージで測定して、反射面の形状に対する光学経路の長さおよびビーム方向の両方における誤差を補償する高空間分解能補正信号を生成することができる干渉分光装置および方法であって、1つまたは2つの直交する軸において走査することのみが要求される、干渉分光装置および方法を提供することである。

30

【0030】

本発明の他の目的は、以下の詳細な説明を図面とともに読めば、以下において、一つには明白であり、一つには明らかになる。

【課題を解決するための手段】

【0031】

(本発明の概要)

光学的アセンブリを含み、ステージ・ミラーの複数の自由度とステージ・ミラーの反射面のトポグラフィとを、高い空間分解能で、1つまたは複数の基準線に沿って、基準線の周りのステージ・ミラーの反射面の対応する局所的な回転とともに、要求に従って必要に応じて測定する干渉計システム。干渉計システムによって、走査方向に直交する表面法線を有する平面内の基準線の局所的な傾斜と、基準線の周りの反射面の局所的な回転とが、反射面によって反射されるビームの方向の角度変化を単一光路の干渉分光法で測定することを用いて測定される。干渉計システムの構成は、複数の自由度が、測定された表面の直線および角度変位の組み合わせから決定されるようになされる。基準線および基準線の周りの反射面の局所的な回転によって表わされる反射面のトポグラフィには、反射面上の

40

50

2つ以上の基準線の組が、付随する局所的な回転の測定値とともに、含まれていても良い。基準線および付随する局所的な回転は、その場でリソグラフィ・ツール内で測定しても良いし、またはオフラインで、導入する前にまたはリソグラフィ・ツールから取り出した後に測定しても良い。また、光学的アセンブリを含み、2つおよび3つのステージ・ミラーの複数の自由度、ならびに基準線および基準線の周りのステージ・ミラーの反射面の局所的な回転とによって表わされるステージ・ミラーの反射面のトポグラフィ、を測定する干渉計システムが記載されている。基準線および基準線の周りのステージ・ミラーの反射面の局所的な回転によって表わされるステージ・ミラーの反射面のトポグラフィを決定するために必要なのは、2つの直交する軸のみにおいて走査することである。2つおよび3つのステージ・ミラーの配置は、2つおよび3つのステージ・ミラーの反射面が通常は、2つおよび3つのステージ・ミラーの他の表面と直交するかまたは平行な面となるように行なわれるが、他の角度たとえば45度であっても良い。反射面のトポグラフィを、リソグラフィ・ツール以外のエンド・ユース用途で用いられるミラーに対して測定しても良い。

10

【0032】

好ましくは直交配置されたミラー面の1つまたは複数のアレイのトポグラフィをその場でキャラクタライズすることができる方法も記載されている。

【0033】

一態様においては、本発明の干渉分光装置は、並進ステージと、少なくとも2つの直交する方向の少なくとも一方に並進ステージを選択的に並進させるための電気機械的装置と、並進ステージに対して所定の仕方でマウントされる、反射面を有する少なくとも1つの薄くて細長いミラーと、複数の測定ビームを生成するための干渉計手段であって、測定ビームは、反射面上に投影されて少なくとも1つの方向における並進ステージの変位と少なくとも1つの薄くて細長いミラーの少なくとも局所的な傾斜とを測定するように適合および配置される、干渉計手段と、並進ステージを選択的に並進させる動作モードを有し、この動作モードにおいて少なくとも1つの薄くて細長いミラーと干渉計手段とを互いに対して動かして、干渉計手段の複数のビームのうちの選択されたビームが少なくとも1つの薄くて細長いミラーをその長手方向の寸法に沿って延びる少なくとも1つの対応する基準線に沿って走査するようにして、走査方向に直交する表面法線を有する少なくとも1つの平面における少なくとも1つの対応する基準線に沿う反射面の局所的な傾斜を示す情報を含む少なくとも1つの信号を生成する、制御手段と、少なくとも1つの信号に含まれる情報を抽出して、少なくとも薄くて細長い1つのミラーの局所的な形状を決定するための信号および分析手段と、を含む。

20

30

【0034】

他の態様においては、少なくとも1つの信号がさらに、前記少なくとも1つの平面における反射面の位置を、前記少なくとも1つの基準線に沿う走査位置の関数として示す情報を含む。

【0035】

本発明の構造、動作、および方法論は、本発明の他の目的および利点とともに、詳細な説明を図面と関連して読むことによって最良に理解することができる。図面では、それぞれの部品に数字が割り当てられており、部品が種々の図面のどこに現れようと、部品が識別されるようになっている。

40

【0036】

(詳細な説明)

本発明の多くの実施形態について、本明細書で説明する。これらの実施形態は、反射面について取得される情報のタイプに基づいて複数のグループに分類される。実施形態の第1のグループでは、1つの反射面における基準線または2つの反射面のそれぞれにおける基準線が、高い空間分解能で決定される。2つの反射面は実質的に互いに直交している。実施形態の第2のグループでは、1つの反射面における一対の基準線または2つの反射面のそれぞれにおける一対の基準線が、高い空間分解能で決定される。2つの反射面は、実

50

質的に互いに直交している。実施形態の第3のグループでは、反射面上の一对の基準線および一对の基準線の周りの反射面の付随する局所的な回転、または2つの反射面のそれぞれにおける一对の基準線および付随する局所的な回転が、高い空間分解能で決定される。2つの反射面は、実質的に互いに直交している。実施形態の第4のグループでは、3つの反射面における基準線および付随する局所的な回転の組み合わせが、高い空間分解能で決定される。3つの反射面は、実質的に互いに直交している。第4の実施形態のグループでは、測定ビームが反射面上に45度のオーダの入射角度で入射しても良い。5つの異なるタイプの干渉計を用いて、種々の実施形態およびその変形において、個々の反射面の直線のおよび角度の変位を測定する。

【0037】

反射面を含む対象物の変位の干渉分光法的に測定される変化の精度は一般的に、平面からならびに反射面に渡って測定ビームを走査および/またはシャーリングすることからの反射面の原因不明のずれによって影響される。原因不明のずれは、原因不明の反射面の局所的な変位および反射面の全体的な方位の局所的な変化から生じる。この理由のために、本発明の実施形態のいくつかは、反射面内での基準線の特徴および基準線の周りの反射面の回転の特徴を測定するように構成される。

【0038】

干渉計の出力ビームの成分の相対的な位相で測定される変化は一般的に、形式 $K L \cos^2$ の1つまたは複数の項として表わされる。ここで、 K は、干渉計への入力ビームの波長に対応する波数であり、 L は、物理的な長さたとえば干渉計から測定対象物までの距離であり、 θ は、測定ビームの成分が干渉計の測定軸と形成する角度である。ステージの方位が実質的に、干渉計の測定軸に直交する軸の周りで変化しない場合には、関連する変化が判明している必要がある精度は著しく緩和され、相対的な位相の変化の精度のみが重要となる。しかし、 θ の大きな系統的変化、たとえばピッチの変化およびステージのヨーによる500マイクロラジアンが存在するときには、平面から反射面がずれる効果は、重大となる可能性がある。用途としてたとえば、ステージ位置が0.1nmの精度(たとえばEUVリソグラフィ・ツールで要求され得る)まで判明している必要があるものを考える。 $L = 1\text{m}$ および $\theta = 500$ マイクロラジアンの値である高安定性の平面鏡干渉計(HSPMI)の場合には、 θ が判明している必要がある精度は50ナノラジアンである。

【0039】

ここで図1を参照する。図1は、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラーの形状を、1つまたは複数の基準線に沿って高い空間分解能でその場でキャラクタライズすることができる一对の直交配置される干渉計または干渉計サブシステムを用いる干渉分光システム15を示す概略的な斜視図である。図1に示すように、システム15にはステージ16が含まれる。ステージ16は好ましくは、半導体製品たとえば集積回路またはチップを作製するためのフォトリソグラフィの装置の一部を形成する。ステージ16は、良く知られている基準座標系(19で概略的に指定される)内を動き、またフォトリソグラフィ・ウェハ23を保持してフォトリソグラフィ露光ユニット25によって露光するためのマウント21が設けられている。ステージ16には、 y 方向に細長い $y-z$ 反射面51を有する薄い高アスペクト比の平面鏡50が、取り付けられている。

【0040】

またステージ16には、 x 方向に細長い $x-z$ 反射面61を有する他の薄い高アスペクト比の平面鏡60が、固定してマウントされている。ミラー50および60のステージ16上へのマウントは、それらの反射面51および61がそれぞれ公称上は互いに直交するように、行なわれている。ステージ16は、その他の場合には、公称上は平面的な並進となるように良く知られた仕方でマウントされるが、ベアリングおよびドライブ・メカニズムの許容誤差に起因して x 、 y 、および z 軸の周りの小さい角度の回転を経る場合もある。通常動作では、システム15は、 y 方向に設定値 x だけ走査するような動作を行なうように構成されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 1 】

干渉計（または干渉計サブシステム）が、オフ・ステージで固定してマウントされており、概略的に 1 0 で示す。干渉計 1 0 の目的は一般に、ステージ 1 6 の x 方向の位置と、ステージ 1 6 が y 方向に並進したときの y および / または z 軸の周りの角度回転とを測定することであり、すなわち反射面 5 1 の x 方向の位置と、ステージ 1 6 が y 方向に並進したときの y および / または z 軸の周りの角度回転とを測定することである。これを行なうために、干渉計 1 0 を多くの干渉分光法のタイプの 1 つとして構成して配置しても良い。たとえば、これらに限定されないが、平面鏡干渉計、受動的ゼロ・シャー干渉計、または能動的ゼロ・シャー干渉計などが挙げられる。それぞれのタイプの場合に、別個の実施形態として後で詳細に説明するように、干渉分光ビームはミラー 5 0 へおよびミラー 5 0 から、概略的に 1 2 として指定される光学経路に沿って移動する。

10

【 0 0 4 2 】

他の干渉計または干渉計サブシステム 2 0、好ましくは干渉計 1 0 のそれと同じタイプのものを、オフ・ステージで固定してマウントして、ステージ 1 6 の y 方向の位置とステージ 1 6 が y 方向に並進したときの x および / または z 軸の周りの角度回転とを、測定する。これを行なうために、干渉計 2 0 は干渉分光ビームをミラー面 6 1 との間で、2 2 として概略的に指定される光学経路に沿って送受する。制御、データ処理、およびハウスキューピング機能は好ましくは、多目的コンピュータ（たとえば 1 7 で指定されるもの）を良く知られた仕方プログラムすることで、データ処理を行ないまた信号およびデータを多目的コンピュータとシステム 1 5 との間で交換するようにすることで実現する。このような交換は、双方向の太字矢印によって概略的に示されるインターフェースを介して行なわれる。

20

【 0 0 4 3 】

次に図 2 a を参照する。ここでは、干渉計 1 0 および 2 0 の第 1 の実施形態が、概略的に 1 1 0 として示される平面鏡タイプの形態で示されており、その構成は、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラー 5 0 および / または 6 0 の形状（ミラー 5 0 および / または 6 0 のそれぞれに対する基準線によって表わされる）を、その場でキャラクタライズできるようになされている。干渉計 1 1 0 の構成および配置は、x - y 面内での反射面の平均の傾斜の変化および局所的な傾斜の変化を測定するようになされている。平均の傾斜は、x - y 面内での反射面上の 2 つの離れた位置（その 2 つの位置を横方向に分離することによって離される）に対するある方向たとえば x 方向における距離の差として定義される。

30

【 0 0 4 4 】

干渉計 1 1 0 は、2 つの高安定性の平面鏡干渉計（H S P M I）と角度変位干渉計とを含む。これらは、図 2 a において、一体型の光学的アセンブリとして概略的に示されている。干渉計 1 1 0 を、干渉計 1 0 としての動作に対して説明する。干渉計 2 0 は類似の仕方動作することが理解される。ビーム 1 3 4 は、反射面 5 1 と接触する 2 つの H S P M I の測定ビームを含む。ビーム 1 3 4 の経路は、図 1 で数字 1 2 によって示される経路に対応する。2 つの H S P M I は、対応する測定軸に沿っての反射面 5 1 の変位 s_1 および s_{10} の変化を、測定する。図 2 a での変位 s_1 および s_{10} が、変位 s_1 および s_{10} に、それぞれ対応する。変位 s_1 および s_{10} の測定値を用いて、サブシステム測定軸に沿っての反射面 5 1 の変位を決定し、また距離 b_1 だけ離れた反射面 5 1 上の 2 つの点に関連する反射面 5 1 の方位の平均の変化を決定する。

40

【 0 0 4 5 】

x - y 面内での反射面 5 1 の局所的な傾斜の変化は、反射面 5 1 によって一旦反射されたビームの方向変化を測定することによって決定される。こうするために、 s_1 測定 H S P M I の基準 / 測定ビームの一部を、ビーム・スプリッタ B S 2 によってビーム 1 3 6 として反射する。ビーム 1 3 6 の測定ビーム成分によって、反射面 5 1 への単一の光路が形成されている。

【 0 0 4 6 】

50

ビーム136の伝搬方向の変化は、角度変位干渉計1010によって測定される。図2bに、角度変位干渉計1010を概略的に示す。角度変位干渉計1010の説明は、以下の文献の角度干渉計に対してなされている説明と同じである。共通所有の米国仮特許出願第60/351、496号明細書(2002年1月24日に出願)、発明の名称「光学的なビーム方向の変化を測定するための干渉計」(ヘンリA・ヒル)、現時点では、米国特許出願第10/271、034号明細書(2002年10月15日に出願)に含まれている。なお、これらの内容は本明細書において参照により全体として取り入れられている。ビーム方向の変化を干渉分光法的に測定するために、本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく第1の実施形態に取り入れても良い角度変位干渉計の他の形態が、以下の文献に記載されている。共通所有の米国特許第6、271、923号明細書(2001年8月7日に付与)米国継続中特許出願第09/852、369号明細書(2001年5月10日に出願)および2002年1月3日に公開(公開番号US-2002-0001087)、米国特許出願第09/599、348号明細書(2000年1月20日に出願)、米国仮特許出願第60/201、457号明細書(2000年5月3日に出願)、現時点では、米国特許出願第09/842、556号明細書(2001年8月26日に出願)および2002年3月21日に公開(公開番号US-2002-0033951-A1)。引用された共通所有の出願および特許の内容は、本明細書において参照により全体として取り入れられている。

【0047】

複光路平面鏡構成の他の形態、たとえば共通所有の米国仮特許出願第60/356、394号明細書(2002年2月12日に出願)、発明の名称「分離ビームの複数の自由度干渉計」(ヘンリA・ヒル)、現時点では、米国特許出願第10/364、300号明細書(2003年2月11日に出願)、および論文、名称「距離および角度測定用の微分干渉計装置原理、利点、および応用」(C・ツァノイ)(C・Zanonni)、VDIベリクテ(Berichte)Nr.749、93-106(1989)に記載されているものも、本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく、第1の実施形態に取り入れることができる。引用された米国仮特許出願第60/356、394号明細書およびツァノイによる論文の内容は、本明細書において参照により全体として取り入れられている。

【0048】

入力ビーム132は、周波数が異なる2つの直交偏光された成分を含む。入力ビーム132たとえばレーザーの供給源130は、種々の周波数変調装置の何れかおよび/またはレーザーとすることができる。入力ビーム132の2つの周波数成分の生成は、供給源130において、たとえばレーザー・ゼーマン分裂、音響光学的な変調によって、または復屈折の部材を用いるレーザーの内部等で行なうことができる。ビーム132の基準および測定ビーム成分は、図2aの面に対してそれぞれ直交および平行に偏光される。

【0049】

システム15は、通常はy並進を測定するように動作するが、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードで動作するときは、ミラー面51の形状をそのx-y面内での基準線に沿ってその場で測定する。ミラー・キャラクタリゼーション・モードでは、ステージ16がy方向に並進して、干渉計10の測定ビームが、ミラー面51を基準線に沿って走査する。その結果、ミラー面51の角度方位およびx-y面内でのx方向の面からの表面のずれとともに、ステージ16を動かす並進メカニズムの変動による寄与と、周期的な非線形性と、干渉計10および20のビームの測定経路におけるガスの定常的および非定常的な効果とを示す情報を含む信号が生成される。ステージ16の方位は好ましくは、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードにおいて、2つのHSPMIの出力ビームの測定ビーム成分と角度変位干渉計1010の出力ビームとが、公称上はゼロ・シャーとなるように選択される。

【0050】

y方向でのステージ16の並進と同時に、干渉計20によってミラー61の方位を、反射面61との干渉計20の測定ビームの固定されたインターセプト・ポイントについて、

モニタする。このステップによって、ステージ 16 の、その並進メカニズム（ベアリング、ドライブ・メカニズムなど）の機械的な寄与による回転を、測定することができる。この情報を用いて、2つの信号が生成される。第1の信号は、干渉計 10 からのものであり、含まれる情報は、ステージ 16 の角度方位および基準線に沿う局所的な傾斜を組み合わせたものの変化と、ステージ 16 の角度方位および基準線に沿う反射面 51 の平均の傾斜を組み合わせたものの変化とに関するものである。第2の信号は干渉計 20 からのものであり、含まれる情報は、y 方向の変位の関数としてのステージ 16 の角度方位に関するものである。

【0051】

反射面 61 上の局所的な傾斜に関する情報は、反射面 51 内の基準線の特徴を決定する際には用いない。と言うのは、ステージ 16 の位置が、y 方向の走査の間に x 方向には変化していないからである。

【0052】

第1および第2の信号を組み合わせて、ミラー面 51 のその基準線に沿う平均の傾斜および局所的な傾斜、すなわち、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ に関する情報を、それぞれ電子プロセッサ 180 およびコンピュータ 182 によって抽出する。次に、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ を、電子プロセッサ 180 およびコンピュータ 182 によって、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ の積分変換を用いて処理して、x-y 面内での基準線の変位 $X_1(y)$ を y の関数として得る。 $\langle dx/dy \rangle$ の積分変換によって、 $X_1(y)$ の空間周波数スペクトルに関する情報が、基準線の空間周波数 $1/b_1$ およびその高調波に対する感度が低い状態で得られる。また $(dx/dy)_{local}$ の積分変換によって、積分変換 $\langle dx/dy \rangle$ からでは決定できない $X_1(y)$ の空間周波数に関する情報が得られる。基準線は、x-y 面内での反射面 51 の表面の直線からのずれを表わすが、x-y 面内での直線の方位を表わしてはいない。

【0053】

変位 $X_1(y)$ を得るための電子プロセッサ 180 およびコンピュータ 182 による処理の例としてのアルゴリズムについて説明する。アルゴリズムは、 $X_1(y)$ のそれぞれのフーリエ空間周波数成分の変動に対して最小値を有する $X_1(y)$ の測定値 $X_{M,1}(y)$ を与えるようにデザインされる。 $X_1(y)$ のフーリエ変換、すなわち、 $F\{X_1(y)\}$ 、に関する情報は、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ のフーリエ変換から得られ、以下ようになる。

【0054】

【数1】

$$F\{X_1(y)\} = -i \frac{\exp\left[-i\frac{Kb_1}{2}\right]}{2\sin\left(\frac{Kb_1}{2}\right)} F\{\langle dx/dy \rangle\}, \quad (1)$$

$$F\{X_1(y)\} = i\left(\frac{1}{K}\right) F\{(dx/dy)_{local}\}, \quad (2)$$

ここで、K は $2 \times$ 空間周波数である。反射面 51 と接触しているビームのサイズが有限である効果によって、空間周波数のバンド幅が、 $F\{X_1(y)\}$ について得られる情報の $1/d$ に制限される。ここで d はビームの直径である。ビームのサイズが有限である効果は、簡単に方程式 (1) および (2) に取り入れることができるが、アルゴリズムの重要な特徴を、本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく簡単な方法で示すために、ここでは省略している。 $F\{X_1(y)\}$ は K の関数である。方程式 (1) から、フーリエ変換 $F\{\langle dx/dy \rangle\}$ は、空間周波数 $1/b_1$ およびその高調波に関して感度が

10

20

30

40

50

低いことが明らかである。

【0055】

方程式(1)および(2)によって得られる $F\{X_1(y)\}$ の変動は、それぞれ σ_1^2 および σ_2^2 であり、たとえば方程式(1)および(2)によって与えられる個々の $F\{X_1(y)\}$ のパワー・スペクトル分析によって得ることができる。 $\{X_{M,1}(y)\}$ を得るための電子プロセッサ180およびコンピュータ182による処理のためのアルゴリズムを、形式的に次のように表わす。

【0056】

【数2】

$$F\{X_{M,1}(y)\} = i \left[\frac{1}{\sigma_1^2 K^2 + \sigma_2^2 4 \sin^2\left(\frac{Kb_1}{2}\right)} \right] \times \left[-\sigma_2^2 2 \sin\left(\frac{Kb_1}{2}\right) \exp\left[i\left(\frac{Kb_1}{2}\right)\right] F\left\{\left\langle \frac{dx}{dy} \right\rangle\right\} + \sigma_1^2 KF\left\{\left\langle \frac{dx}{dy} \right\rangle_{local}\right\} \right] \quad (3)$$

10

次に、 $F\{X_{M,1}(y)\}$ の逆フーリエ変換を、電子プロセッサ180およびコンピュータ182によって行なって、 $X_{M,1}(y)$ を得る。

20

【0057】

$X_{M,1}(y)$ の空間周波数バンド幅は、反射面51と接触しているビームのサイズが有限である効果によりほぼ $1/d$ である。

【0058】

周期的な誤差の効果は、測定量 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ を決定する際に、補正される。周期的な誤差の補正は、y方向の走査の間にxおよびy方向のステージ16の位置を変調することと、第1および第2の信号をフィルタリングして周期的な誤差の効果を除くこととによって、行なわれる。ステージ位置を変調することによって、周波数空間において、第1および第2の信号の周期的な誤差による成分を、反射面51の形状およびステージ16の回転に関する情報を表わす第1および第2の信号の主成分から分離する。その後、主信号成分を、電子プロセッサ180およびコンピュータ182において、スペクトル分析たとえば有限フーリエ変換によって分離する。xおよびy方向での変調の振幅は、測定ビームの直径と比べれば小さいが、主信号成分と周期的な誤差による信号成分とを適切に分離できる程には十分大きい。

30

【0059】

本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく第1の実施形態に取り入れても良い周期的な誤差の補正技術の例が、以下の文献に記載されている。共通所有の米国仮特許出願第60/337、478号明細書(2001年11月5日に出願)、発明の名称「周期的な誤差補正および分解能の向上」(ヘンリA・ヒル)、現時点では、米国特許出願第10/287、898号明細書(2002年11月5日に出願)。これらの内容は本明細書において参照により全体として取り入れられている。

40

【0060】

本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく第1の実施形態に取り入れても良い周期的な誤差の補正技術の他の例が、次の文献に記載されている。共通所有の米国仮特許出願第60/303、299号明細書(2001年7月6日に出願)、発明の名称「直交偏光された入力ビーム成分間の伝搬における角度差を用いた干渉分光システムおよび方法」(ヘンリA・ヒルおよびピータ・デ・グルーツ(Peter de Groot))、現時点では、米国特許出願第10/174、149号明細書(2003年1月9日に公開、公開番号US-2003-0007156-A1)。これらの内容は本明細書において参照により全体として取り入れられている。

50

【 0 0 6 1 】

本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく第1の実施形態に取り入れても良い周期的な誤差の補正技術の他の例が、次の文献に記載されている。共通所有の米国仮特許出願第60/314、490号明細書(2001年8月23日に出願)、発明の名称「傾斜した干渉計」(ヘンリA・ヒル)、現時点では、米国特許出願第10/218、965号明細書(2003年2月27日に公開、公開番号US-2003-0038947)。これらの内容は本明細書において参照により全体として取り入れられている。

【 0 0 6 2 】

本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく第1の実施形態に取り入れても良い周期的な誤差の補正技術が、たとえば次の文献に記載されている。共通所有の米国特許第6、137、574号明細書、発明の名称「距離測定における周期的な誤差をキャラクタライズおよび補正するシステムおよび方法ならびに分散干渉分光法」、米国特許第6、252、668b1号明細書、発明の名称「干渉分光システムにおける非線形性を定量化するためのシステムおよび方法」、米国特許第6、246、481号明細書(2001年6月12日に付与)、発明の名称「干渉分光システムにおける非線形性を定量化するためのシステムおよび方法」。3つはすべてヘンリA・ヒルによりものであり、上に引用した3つの特許および特許出願の内容は本明細書において参照により全体として取り入れられている。

【 0 0 6 3 】

測定経路12および22におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は、要求されるエンド・ユース用途に対して第1の実施形態において補正される。定常的および非定常的な効果の補正に対する技術は、以下の文献に記載されているものと同じである。共通所有の米国仮特許出願第60/335、963号明細書(2001年11月15日に出願)、発明の名称「干渉計におけるガスの屈折度の定常的な非ランダム変化および定常的なランダム変動の効果に対する補正」、現時点では、米国特許出願第10/294、158号明細書(2002年11月14日)、米国仮特許出願第60/352、061号明細書(2002年1月24日に出願)、発明の名称「干渉分光法におけるガスの乱流効果の補正に対する非分散方法および装置」、現時点では、米国特許出願第10/350、522号明細書(2003年1月24日に出願)。両方ともヘンリA・ヒルによるものであり、引用された両方の特許出願の内容は、本明細書において参照により取り入れられている。

【 0 0 6 4 】

こうして、 $x-y$ 面内での干渉計10のビーム136の測定ビーム成分の方向の変化と差異 $x_{10} - x_1$ の変化とを測定し、これらの変化に対する、ステージ回転の変化により引き起こされる寄与を明らかにすることによって、周期的な誤差と、測定経路におけるガスの効果と、ミラー面51の形状とを、高い空間分解能で $x-y$ 面内で基準線に沿って、それがその作業用環境内でマウントされる間に、決定することができる。

【 0 0 6 5 】

本発明の重要な特徴は、単一のビーム干渉計を用いて表面の方位変化を測定することであり、測定される変化には、 $1/d$ によって与えられるカットオフ周波数以下のすべての空間周波数が含まれる。ここで d は、単一のビーム干渉計における測定ビームの直径である。2つの複光路干渉計たとえば2つのHSPMIのみを用いて表面の方位変化を測定すると、2つの複光路干渉計の測定軸間隔(たとえば図2aにおける b_1 に対応する)およびその高調波に等しい空間波長を有する空間周波数のスペクトル成分をすべて失うことになるため、反射面の完全な形状を再生することができない。

【 0 0 6 6 】

次に、対応する基準線を反射面61に対して生成する。これは、 x 方向に走査すること、および反射面51における基準線の生成に対して説明した手順を繰り返すことによる。

【 0 0 6 7 】

エンド・ユース用途において1つの反射面たとえば反射面51内の基準線についての情

10

20

30

40

50

報のみが要求される場合には、干渉計 20 内の単一光路の角度干渉計を、本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく、省略できることが当業者には明らかである。また当業者にとって明らかであるのは、単一の基準線のみを測定する必要があり、第 2 の干渉計 20 にはたとえば、他の形態の角度測定用干渉計、たとえば、引用されたツァノイによる論文において図示され説明されたタイプ、および米国特許出願第 09 / 842、556 号明細書（2001 年 4 月 26 日に出版）、発明の名称「動的な角度測定用干渉計」、2002 年 3 月 21 日に公開（公開番号 US - 2002 - 0033951 - A1）において図示され説明された角度測定干渉計のタイプを含めることができる、ということである。

【0068】

第 1 の実施形態の重要な特徴は、干渉計 10 および 20 をそれぞれ一体型の光学的アセンブリとすることで、測定精度に対する干渉計の安定性の増加とデザインのコンパクトさとに寄与できることである。

【0069】

第 1 の実施形態の重要な利点は、第 1 の実施形態の特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードを、リソグラフィ・ツールのスルー・プットを損なわないイン・プロセス・ウェハ手順の一部として、ウェハの処理に取り入れても良いことである。詳細には、第 1 および第 2 の信号を得ることができるのは、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードに対する条件が、一連のイン・プロセス・ウェハ手順の間に満足されて、その後、 $x - y$ 面内で基準線に沿って高い空間分解能でミラー面 51 および 61 の形状を決定するために用いられるときである。前述した条件は、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードに対するステージの方位 16 が、2 つの HSPMI の出力ビームの測定ビーム成分と角度変位干渉計 1010 の出力ビームとが公称上はゼロ・シャーとなるようなものである、ということである。条件を満足させる必要があるのは、効果的なイン・プロセス・ミラー・キャラクタリゼーションを維持するためにウェハを処理する際に用いられる時間の小さいサブセットに対してのみである。さらなる結果として、反射面たとえば 51 および 61 の基準線によって表わされる形状の時間に対する変化を、リソグラフィ・ツールのスルー・プットを損なうことなくその場でモニタしても良い。

【0070】

第 1 の実施形態には、ステージ 16 に取り付けられた薄くて細長い高アスペクト比のミラー 50 および 60 が含まれており、2 つのミラー 50 および 60 のそれぞれは、単一の平面反射面 51 および 61 を、それぞれ有している。他の形態のオブジェクト・ミラーを、本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく、第 1 の実施形態に取り入れても良い。他の形態の一例は、薄くて細長い高アスペクト比のポロ・プリズムであり、たとえば以下の文献に記載されているものである。共通所有の米国特許第 6、163、379 号明細書（2000 年 12 月 19 日に付与）、発明の名称「ゴースト反射を低減するための傾斜した波長板を有する干渉計」（ピータ・デ・グルーツ）。この内容は、本明細書において参照により全体として取り入れられている。

【0071】

干渉計 10 および 20 の第 2 の実施形態は、受動的ゼロ・シャー・タイプであり、より具体的には図 2c において 210 として概略的に示されるゼロ微分シャー・タイプであり、その構成は、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラー 50 および / または 60 の形状（ミラー 50 および / または 60 のそれぞれに対する基準線によって表わされる）を、その場で高い空間分解能でキャラクタライズできるようになされている。干渉計 210 は、 $x - y$ 面における反射面の平均傾斜の変化および平均の局所的な傾斜の変化を測定するように、構成および配置される。平均の傾斜は、 $x - y$ 面内での反射面上の 2 つの離れた位置（2 つの位置を横方向に分離することによって離される）に対するある方向たとえば x 方向の距離の差として、定義される。平均の局所的な傾斜は、 $x - y$ 面内での 2 つの離れた位置で測定される局所的な傾斜の平均として定義される。

【0072】

干渉計 210 には、直線の変位を測定するための HSPMI と、一体型の光学的アセン

10

20

30

40

50

y 方向でのステージ 16 の並進と同時に、干渉計 20 によってミラー 61 の方位を、反射面 61 との干渉計 20 の測定ビームの固定されたインターセプト・ポイントについて、モニタする。このステップによって、ステージ 16 の、その並進メカニズム（ベアリング、ドライブ・メカニズムなど）の機械的な寄与による回転を、測定することができる。この情報を用いて、2 つの信号が生成される。第 1 の信号は、干渉計 10 からのものであり、含まれる情報は、ステージ 16 の角度方位および反射面 51 の x - y 面の平均の局所的な傾斜を組み合わせたものの変化と、ステージ 16 の角度方位および基準線に沿う反射面 51 の x - y 面内での平均の傾斜を組み合わせたものの変化とに関するものである。第 2 の信号は干渉計 20 からのものであり、含まれる情報は、y 方向の変位の関数としてのステージ 16 の角度方位に関するものである。

10

【0078】

反射面 61 上の平均の局所的な傾斜および平均の傾斜に関する情報は、反射面 51 内の基準線の特性を決定する際には用いない。と言うのは、ステージ 16 の位置が、y 方向の走査の間に x 方向には変化していないからである。

【0079】

電子プロセッサ 280 およびコンピュータ 282 では、第 1 および第 2 の信号を組み合わせ、x - y 面内でのミラー 51 のその基準線に沿う平均の傾斜および平均の局所的な傾斜、すなわち、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ のそれぞれに関して、情報を抽出する。次に、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ を、電子プロセッサ 280 およびコンピュータ 282 によって、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ の積分変換を用いて処理して、x - y 面内での基準線の 変位 $X_2(y)$ を y の関数として得る。 $\langle dx/dy \rangle$ の積分変換によって、 $X_2(y)$ の空間周波数スペクトルについての情報が、基準線の空間周波数 $1/b_2$ およびその高調波に対する感度が低い状態で得られる。また積分変換 $(dx/dy)_{local}$ によって、 $X_2(y)$ の空間周波数についての情報が、基準線の空間周波数 $1/(2b_2)$ およびその奇数の高調波に対する感度が低い状態で得られる。基準線は、x - y 面内での反射面 51 の表面の直線からのずれを表わすが、x - y 面内での直線の方位を表わしてはいない。

20

【0080】

変位 $X_2(y)$ を得るための電子プロセッサ 280 およびコンピュータ 282 による処理の例としてのアルゴリズムについて説明する。アルゴリズムは、 $X_2(y)$ のそれぞれのフーリエ空間周波数成分の変動に対して最小値を有する $X_2(y)$ の測定値 $X_{M,2}(y)$ を与えるようにデザインされる。 $X_2(y)$ のフーリエ変換、すなわち、 $F\{X_2(y)\}$ 、に関する情報は、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ のフーリエ変換から得られ、以下ようになる。

30

【0081】

【数 3】

$$F\{X_2(y)\} = -i \left[\frac{\exp\left[-i\frac{Kb_2}{2}\right]}{2\sin\left(\frac{Kb_2}{2}\right)} \right] F\{\langle dx/dy \rangle\} , \quad (4)$$

40

$$F\{X_2(y)\} = i \left(\frac{1}{K} \right) \left[\frac{\exp\left[-i\frac{Kb_2}{2}\right]}{2\cos\left(\frac{Kb_2}{2}\right)} \right] F\{\langle (dx/dy)_{local} \rangle\} . \quad (5)$$

反射面 51 と接触しているビームのサイズが有限である効果によって、空間周波数のバンド幅が、 $F\{X_2(y)\}$ について得られる情報の $1/d$ に制限される。ここで d はビ

50

ームの直径である。ビームのサイズが有限である効果は、簡単に方程式(4)および(5)に取り入れることができるが、アルゴリズムの重要な特徴を、本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく簡単な方法で示すために、ここでは省略している。方程式(4)および(5)から、フーリエ変換 $F\{< dx / dy >\}$ は、空間周波数 $1 / b_1$ およびその高調波に関して感度が低いこと、およびフーリエ変換 $F\{< (dx / dy)_{local} >\}$ は、空間周波数 $1 / (2 b_2)$ およびその奇数の高調波に関して感度が低いことが、明らかである。

【0082】

方程式(4)および(5)によって得られる $F\{X_{M,2}(y)\}$ の変動は、それぞれ σ_3^2 および σ_4^2 であり、たとえば方程式(4)および(5)によって与えられる個々の $F\{X_{M,2}(y)\}$ のパワー・スペクトル分析によって得ることができる。 $\{X_{M,2}(y)\}$ を得るための電子プロセッサ280およびコンピュータ282による処理のためのアルゴリズムを、形式的に次のように表わす。

【0083】

【数4】

$$F\{X_{M,2}(y)\} = \frac{i}{2} \left[\frac{\exp\left[-i\left(\frac{Kb_2}{2}\right)\right]}{\sigma_4^2 \sin^2\left(\frac{Kb_2}{2}\right) + \sigma_3^2 K^2 \cos^2\left(\frac{Kb_2}{2}\right)} \right] \quad (6)$$

$$\times \left[-\sigma_4^2 \sin\left(\frac{Kb_2}{2}\right) F\left\{\left\langle \frac{dx}{dy} \right\rangle\right\} + \sigma_3^2 K \cos\left(\frac{Kb_2}{2}\right) F\left\{\left\langle \left(\frac{dx}{dy}\right)_{local} \right\rangle\right\} \right]$$

次に、 $F\{X_{M,2}(y)\}$ の逆フーリエ変換を、電子プロセッサ180およびコンピュータ182によって行なって、 $X_{M,2}(y)$ を得る。

【0084】

$X_{M,2}(y)$ の空間周波数バンド幅は、反射面51と接触しているビームのサイズが有限である効果によりほぼ $1 / d$ である。

【0085】

干渉計210のゼロ微分ビーム・シャー特性〔微分ビーム・シャーは、あるビームの他のビームに対するビーム・シャーのみを指し、ゼロ微分ビーム・シャーは、両方のビームが同じ方向において同じ量だけシャーされることを意味する〕は、単一の光路干渉計を用いて平均の傾斜を測定したビーム・コンディショニングを行なうことの結果であるが、ゼロ微分ビーム・シャー特性によって、第2の実施形態の3つの干渉計のそれぞれによって生成される電氣的な干渉信号内の周期的な誤差の振幅が小さくなる。しかし周期的な誤差の残りの効果は、第2の実施形態のエンド・ユース用途において必要ならば、測定量 $< dx / dy >$ および $(dx / dy)_{local}$ を決定する際に補正される。周期的な誤差の残りの効果を補正するために用いられる技術の説明は、第1の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【0086】

測定経路12および22におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は、要求されるエンド・ユース用途に対して第2の実施形態において補正される。測定経路12および22におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果を補正するために用いられる技術の説明は、第1の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【0087】

次に、対応する基準線を反射面61に対して生成する。これは、x方向に走査すること、および反射面51における基準線の生成に対して説明した手順を繰り返すことによって行なう。

【0088】

10

20

30

40

50

第2の実施形態の利点は、第2の実施形態において干渉計の出力ビームのゼロ微分シャーという特徴の結果として、ステージ16の角度方位についての制約（たとえば本発明の第1の実施形態において遭遇するようなもの）がないことである。第1の実施形態においては、ステージ16の向きは好ましくは、局所的な傾斜の変化を測定するために用いられる干渉計の出力ビームの測定ビーム成分のビーム・シャーが公称上はないようにされていた。この制約が第1の実施形態において存在しているのは、局所的な傾斜を測定するために用いられる角度干渉計からの振幅に関して、最適な電氣的な干渉信号を得るためである。

【0089】

第2の実施形態の他の利点は、微分シャーがゼロであるという特徴およびステージ16の角度方位についての制約がないことの結果として、第2の実施形態のミラー・キャラクタリゼーション・モードを、ウェハの処理に、リソグラフィ・ツールのスルー・プットを損なわないイン・プロセス・ウェハ手順の一部として、取り入れても良いことである。さらなる結果として、反射面たとえば51および61の形状の時間についての変化を、リソグラフィ・ツールのスルー・プットを損なうことなく、その場でモニタしても良い。

【0090】

第2の実施形態の他の利点は、測定される平均の傾斜および測定される平均の局所的な傾斜が、HSPMIによって測定される直線の変位の変化の場合よりも2倍だけ高い空間周波数において情報を含むことである。これは、角度変位干渉計およびHSPMIに対するビーム直径の差の結果である。

【0091】

第2の実施形態の重要な特徴は、干渉計10および20をそれぞれ一体型の光学的アセンブリとすることで、測定精度に対する干渉計の安定性の増加とデザインのコンパクトさに寄与できることである。

【0092】

第2の実施形態の残りの説明は、本発明の第1の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【0093】

干渉計10および20の第2の実施形態の変形は、受動的ゼロ・シャー・タイプ、より具体的にはゼロ微分シャー・タイプである。これは、図2dに1210として概略的に示され、その構成は、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラー50および60の形状（ミラー50および60のそれぞれに対して基準線によって表わされる）を、高い空間分解能でその場でキャラクタライズできるようになされている。第2の実施形態の変形が第2の実施形態と異なる点は、局所的な角度変位についての情報を生成することである。第2の実施形態の変形においては、局所的な角度変位の変化が測定され、第2の実施形態においては、平均の局所的な角度変位の変化が測定される。後述するように、第2の実施形態の変形において用いられる特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードは、第1の実施形態の特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードと同じである。

【0094】

第2の実施形態の変形の干渉計10および20には、第2の実施形態の要素と同じ要素番号の要素が多く含まれている。同じ要素番号の要素は同様の機能を行なう。x-y面内での反射面51の局所的な傾斜の変化は、反射面51によって一旦反射されたビームの方向変化を測定することによって決定される。こうするために、角度変位干渉計の基準/測定ビームの一部を、ビーム・スプリッタBS3によってビーム1236として送信する。ビーム1236の測定ビーム成分によって、反射面51への単一の光路が形成されている。

【0095】

ビームの伝搬方向1236の変化は、図2dに示すように角度変位干渉計1010によ

10

20

30

40

50

って測定される。図 2 b に、角度変位干渉計 1 0 1 0 を概略的に示す。

【 0 0 9 6 】

システム 1 5 は、通常は y 並進を測定するように動作するが、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードで動作するときは、ミラー面 5 1 の形状をその基準線に沿ってその場で測定する。ミラー・キャラクタリゼーション・モードでは、ステージ 1 6 が y 方向に並進して、干渉計 1 0 の測定ビームが、ミラー面 5 1 を基準線に沿って走査する。その結果、ミラー面 5 1 の角度方位および x - y 面内での x 方向の面からの表面のずれとともに、ステージ 1 6 を動かす並進メカニズムの変動による寄与と、周期的な非線形性と、干渉計 1 0 および 2 0 のビームの測定経路におけるガスの定常的および非定常的な効果とを示す情報を含む信号が生成される。

10

【 0 0 9 7 】

ステージ 1 6 の方位は好ましくは、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードにおいて、角度変位干渉計 1 0 1 0 への入力ビームの測定ビーム成分が、公称上はゼロ・シャーとなるように選択される。

【 0 0 9 8 】

第 2 の実施形態の変形によって、本発明の第 1 の実施形態と同様に、局所的な傾斜の変化および平均の傾斜の変化が測定される。結果として、第 2 の実施形態の変形の残りの説明は、第 1 の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【 0 0 9 9 】

第 2 の実施形態の変形の重要な利点は、第 2 の実施形態の変形の特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードを、リソグラフィ・ツールのスルー・プットを損なわないイン・プロセス・ウェハ手順の一部として、ウェハの処理に取り入れても良いことである。詳細には、第 1 および第 2 の信号を得ることができるのは、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードに対する条件が、ウェハ処理の際に用いられる時間のサブセットの間に満足されて、その後、x - y 面内で基準線に沿って高い空間分解能でミラー面 5 1 および 6 1 の形状を決定するために用いられるときである。前述した条件は、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードに対するステージの方位 1 6 が、角度変位干渉計 1 0 1 0 への入力ビームの測定ビーム成分が公称上はゼロ・シャーとなるようなものである、ということである。条件を満足させる必要があるのは、効果的なイン・プロセス・ミラー・キャラクタリゼーションを維持するためにウェハを処理する際に用いられる時間の小さいサブセットに対してのみである。さらなる結果として、反射面たとえば 5 1 および 6 1 の基準線によって表わされる形状の時間に対する変化を、リソグラフィ・ツールのスルー・プットを損なうことなくその場でモニタしても良い。

20

30

【 0 1 0 0 】

第 2 の実施形態の変形の重要な特徴は、干渉計 1 0 および 2 0 をそれぞれ一体型の光学的アセンブリとすることで、測定精度に対する干渉計の安定性の増加とデザインのコンパクトさに寄与できることである。

【 0 1 0 1 】

干渉計 1 0 および 2 0 の第 3 の実施形態には、能動的ゼロ・シャー・タイプの干渉計が含まれている。これは、図 2 e に 3 1 0 として概略的に示され、その構成は、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラー 5 0 および 6 0 の形状 (ミラー 5 0 および 6 0 のそれぞれに対して基準線によって表わされる) を、高い空間分解能でその場でキャラクタライズできるようになされている。干渉計 3 1 0 の構成および配置は、x - y 面内での反射面の平均の傾斜の変化および局所的な傾斜の変化を測定するようになされている。平均の傾斜は、x - y 面内での反射面上の 2 つの離れた位置 (その 2 つの位置を横方向に分離することによって離される) に対するある方向たとえば x 方向における距離の差として定義される。

40

【 0 1 0 2 】

干渉計 3 1 0 は、2 つの能動的ゼロ・シャー平面鏡干渉計を含んでいる。干渉計 3 1 0 を、干渉計 1 0 としての動作に対して説明する。第 3 の実施形態において用いられる能動

50

的ゼロ・シャー干渉計は、以下の文献に記載される能動的ゼロ・シャー干渉計と同じである。前述の共通所有の米国仮特許出願第60/356、393号明細書(2002年2月12日に出願)、発明の名称「入力測定ビーム成分および出力基準ビーム成分を向けなおす動的なビーム・ステアリング部材を有する干渉計」(ヘンリA・ヒル)、現時点では、米国特許出願第10/364、666号明細書(2003年2月11日に出願)。この文献は本明細書において参照により全体として取り入れられている。その出願で説明されているように、ビーム・ステアリング・ミラーに備わるビーム・ステアリング能力は、フィードバックまたはフィード・フォワード信号によって測定オブジェクト・ミラーに垂直な経路上にビームを維持するために用いられる。ここでは、干渉計10によって得られるミラー50の方位に関する情報を、フィード・フォワード・モードで用いる。能動的ゼロ・シャー干渉計の他の形態を、本発明の範囲および趣旨から逸脱することなく、第3の実施形態に取り入れても良い。たとえば以下の文献に記載されているものである。PCT特許出願(2000年5月5日に出願)、発明の名称「角度および距離を測定するための動的なビーム・ステアリング・アセンブリを有する干渉分光システム」、2000年11月19日に公開(公開番号00/66969)、米国仮特許出願第60/201、457号明細書(2000年5月3日に出願)、発明の名称「光ビームの差分経路を測定および/または制御するための装置および方法」、現時点では、米国特許出願第09/842、556号明細書、2002年3月21日に公開(公開番号US-2002-0033951)、米国仮特許出願第60/314、570号明細書(2001年8月23日に出願)、発明の名称「入力ビームの方向を制御する動的干渉計」、現時点では、米国特許出願第10/226、591号明細書、2003年3月6日に公開(公開番号US-2003-0043384)。この3つの出願は、ヘンリA・ヒルの名義であり、本明細書において参照により全体として取り入れられている。

【0103】

ビーム334には、反射面51に接触する2つのゼロ・シャー干渉計の測定ビームが含まれている。ビーム334の経路は、図1に数字12で示される経路に対応する。2つのゼロ・シャー干渉計によって、反射面51の対応する測定軸に沿っての変位 s_3 および s_{30} の変化が、それぞれ測定される。図2eの変位 s_3 および s_{30} が、変位 s_3 および s_{30} に対応する。変位 s_3 および s_{30} の測定値を用いて、サブシステム測定軸に沿っての反射面51の変位を決定し、またx-y面内で距離 b_3 だけ離れた反射面51上の2つの点に関連する反射面51の方位の平均の変化を決定す。

【0104】

x-y面内での反射面51の局所的な傾斜の変化は、反射面51によって一旦反射されたビーム方向の変化を測定することによって決定される。こうするために、 s_3 を測定する能動的ゼロ・シャー干渉計の出力ビームの一部を、ビーム・スプリッタBS4によって、ビーム336として反射する。ビーム336の測定ビーム成分によって、反射面51への単一の光路が形成されている。

【0105】

ビーム336の伝搬方向の変化を、図2bに概略的に示す角度変位干渉計1010によって測定する。能動的ゼロ・シャー干渉計を用いる結果、ビーム336の基準および測定ビーム成分間の微分ビーム・シャーがゼロとなり、またビーム336の成分のそれぞれに対してビーム・シャーが低減される。角度変位干渉計測定についての第3の実施形態の残りの説明は、第1および第2の実施形態において角度変位干渉計測定に対して行なった説明の対応する部分と同じである。図2fを参照しても良い。図2fは、図2eの中心のサブアセンブリの概略的な分解斜視図を示しており、PBS、プリズム、およびポロ・プリズムを含む。図2gに、ビームb1が、図2fのサブアセンブリの1つのブランチを通過してミラー上の2つの別個の位置の一方との間で伝搬するときの移動経路を示す。

【0106】

システム15は、通常はy並進を測定するように動作するが、特別なミラー・キャラクター化モードで動作するときは、ミラー面51の形状をそのx-y面内での基

10

20

30

40

50

準線に沿ってその場で測定する。ミラー・キャラクタリゼーション・モードでは、ステージ16がy方向に並進して、干渉計10の測定ビームが、ミラー面51を基準線に沿って走査する。その結果、ミラー面51の角度方位およびx-y面内でのx方向の面からの表面のずれとともに、ステージ16を動かす並進メカニズムの変動による寄与と、周期的な非線形性と、干渉計10および20のビームの測定経路におけるガスの定常的および非定常的な効果とを示す情報を含む信号が生成される。

【0107】

y方向でのステージ16の並進と同時に、干渉計20によってミラー61の方位を、反射面61との干渉計20の測定ビームの固定されたインターセプト・ポイントについて、モニタする。このステップによって、ステージ16の、その並進メカニズム（ベアリング、ドライブ・メカニズムなど）の機械的な寄与による回転を、測定することができる。この情報を用いて、2つの信号が生成される。第1の信号は、干渉計10からのものであり、含まれる情報は、ステージ16の角度方位および反射面51のx-y面内での局所的な傾斜を組み合わせたものの変化と、ステージ16の角度方位および反射面51のx-y面内での平均の傾斜を組み合わせたものの変化とに関するものである。第2の信号は干渉計20からのものであり、含まれる情報は、y方向の変位の関数としてのステージ16の角度方位に関するものである。

10

【0108】

反射面61上の局所的な傾斜および平均の傾斜に関する情報は、反射面51内の基準線の特性を決定する際には用いない。と言うのは、ステージ16の位置が、y方向の走査の間にx方向には変化していないからである。

20

【0109】

第1および第2の信号を電子プロセッサ380およびコンピュータ382で処理して、x-y面内でのミラー51のその基準線に沿う平均の傾斜および局所的な傾斜、すなわち、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ のそれぞれに関して、情報を抽出する。次に、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ を、電子プロセッサ380およびコンピュータ382によって、 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ の積分変換を用いて処理して、x-y面内での基準線の 変位 $X_3(y)$ をyの関数として得る。第3の実施形態における処理の説明は、第1の実施形態における対応する処理に対して行なった説明と同じである。基準線は、x-y面内での反射面51の表面の直線からのずれを表わすが、x-y面内での直線の方位を表わしてはいない。

30

【0110】

第3の実施形態の利点は、周期的な誤差の効果が、能動的ゼロ・シャー干渉計を用いる結果、一般的に低減されることである。しかし周期的な誤差の残りの効果は、エンド・ユース用途で必要ならば、第3の実施形態において、測定量 $\langle dx/dy \rangle$ および $(dx/dy)_{local}$ を決定する際に補正される。周期的な誤差の残りの効果を補正するために用いられる技術の説明は、第1の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【0111】

測定経路12および22におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は、要求されるエンド・ユース用途に対して第3の実施形態において補正される。測定経路12および22におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は補正するために用いられる技術の説明は、第1の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

40

【0112】

次に、対応する基準線を反射面61に対して生成する。これは、x方向に走査すること、および反射面51における基準線の生成に対して説明した手順を繰り返すことによって行なう。

【0113】

第3の実施形態の利点は、第3の実施形態において干渉計の出力ビームのゼロ・シャーという特徴の結果として、ステージ16の角度方位についての制約（たとえば本発明の第

50

1の実施形態において遭遇するようなもの)がないことである。第1の実施形態においては、ステージ16の向きは好ましくは、局所的な傾斜の変化を測定するために用いられる干渉計の出力ビームの測定ビーム成分のビーム・シャーが公称上はないようにされていた。この制約が第1の実施形態においておよび第2の実施形態の変形において存在しているのは、局所的な傾斜を測定するために用いられる角度干渉計からの振幅に関して、最適な電氣的な干渉信号を得るためである。

【0114】

第3の実施形態の他の利点は、ゼロ・シャーという特徴およびステージ16の角度方位についての制約がないということの結果として、第3の実施形態のミラー・キャラクターゼーション・モードを、ウェハの処理に、リソグラフィ・ツールのスルー・プットを損な

10

【0115】

干渉計10および20内の2つの能動的ゼロ・シャー干渉計および角度変位干渉計1010には、第3の実施形態における一体型の光学的アセンブリが含まれている。これは、一体型の光学的アセンブリを用いることで、測定精度に対する干渉計10および20の安定性の増加とデザインのコンパクトさとに寄与するという、第3の実施形態の重要な特徴である。

【0116】

第3の実施形態の残りの説明は、本発明の第1および第2の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

20

【0117】

本発明の最初の3つの実施形態では、反射面51および61の表面において、 $x-y$ 面内で高い空間分解能で基準線が決定されている。本発明の次の3つの実施形態では、反射面51および61のそれぞれにおいて、 $x-y$ 面内で高い空間分解能で一对の基準線が、ステージ16を $x-y$ 面に直交してすなわち z 軸に沿って走査または変位させることなく、決定される。

【0118】

干渉計10および20の第4の実施形態は、平面鏡タイプである。これは、図3aに410として概略的に示され、その構成は、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラー50および60の形状(ミラー50および60のそれぞれに対して一对の基準線によって表わされる)を、2つの $x-y$ 面内で高い空間分解能でその場でキャラクタライズできるようになされている。基準線対は、反射面51および61内にある。

30

【0119】

図3aおよび3bに概略的に示す干渉計サブシステム410には、2つの干渉計サブシステムが含まれている。2つの干渉計サブシステムはそれぞれ、第1の実施形態の干渉計サブシステム110と同じである。2つの干渉計サブシステムは、距離 b_5 だけ z 方向に離されており、一体型の光学的アセンブリ内で積層状に組み合わせられている。図3aおよび3bの同じ番号の要素は、図3aおよび3bで同様の機能を果たすのに十分なサイズの単一の要素を表わしており、そのため、部品数が減り、一体型の光学的アセンブリの構成の一因となっている。2つの干渉計サブシステムによって、対応する測定軸に沿う反射面51の変位 x_4 および x_{40} と変位 x_{104} および x_{140} との変化が、測定される。変位 x_4 および x_{40} と変位 x_{104} および x_{140} とは、図3aおよび3bのそれぞれにおける変位 s_4 および s_{40} と変位 s_{104} および s_{140} とに、それぞれ対応する。

40

【0120】

変位 x_4 および x_{40} は、図3aの1つの $x-y$ 面内にある。変位 x_{104} および x_{140} は、図3bの第2の $x-y$ 面内にある。第1および第2の $x-y$ 面は、 z 方向に距離 b_5 だけ離れている。変位 x_4 および x_{40} と変位 x_{104} および x_{140} との測定値を用いて、 z 方向に距離 b_5 だけ離れているサブシステム測定軸に沿う反射面51の変位を

50

決定する。変位 x_4 および x_{40} の差と変位 x_{104} および x_{140} の差との測定値を用いて、第1および第2のそれぞれの $x - y$ 面内での反射面51の平均の傾斜を決定する。第4の実施形態における平均の傾斜の定義は、本発明の第1の実施形態において与えられた平均の傾斜の定義と同じである。第1および第2の $x - y$ 面内での反射面51の局所的な傾斜の変化を、反射面51によって距離 b_5 だけ離れた位置でそれぞれ一旦反射されている2つのビームの方向の変化を測定することによって、決定する。

【0121】

システム15は、通常は y 並進を測定するように動作するが、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードで動作するときは、ミラー面51の形状をその基準線に沿ってその場で測定する。特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードでは、ステージ16が y 方向に並進して、干渉計10の測定ビームが、ミラー面51を、 z 方向に離れた一对の基準線に沿って走査する。その結果、ミラー面51の角度方位および第1および第2の $x - y$ 面内での x 方向の面からの表面のずれとともに、ステージ16を動かす並進メカニズムの変動による寄与と、周期的な非線形性と、干渉計10および20のビームの測定経路におけるガスの定常的および非定常的な効果とを示す情報を含む信号が生成される。ステージ16の方位は好ましくは、特別なミラー・キャラクタリゼーション・モードにおいて、4つのHSPMIの出力ビームの測定ビーム成分と2つの角度変位干渉計1010への入力ビームとが、公称上はゼロ・シャーとなるように選択される。

【0122】

y 方向でのステージ16の並進と同時に、干渉計20によってミラー61の方位を、反射面61との干渉計20の測定ビームの固定されたインターセプト・ポイントについて、モニタする。このステップによって、ステージ16の、その並進メカニズム（ベアリング、ドライブ・メカニズムなど）の機械的な寄与による回転を、測定することができる。この情報を用いて、2つの信号が生成される。第1の信号は、干渉計10からのものであり、ステージ16の角度方位および反射面51の局所的な傾斜を組み合わせたものの変化と、ステージ16の角度方位および2本の基準線に沿う反射面51の平均の傾斜を組み合わせたものの変化とに関する4つの信号の組を含んでいる。第2の信号は干渉計20からのものであり、含まれる情報は、 y 方向の変位の関数としてのステージ16の角度方位に関するものである。

【0123】

反射面61上の局所的な傾斜に関する情報は、反射面51内の2本の基準線の特徴を決定する際には用いない。と言うのは、ステージ16の位置が、 y 方向の走査の間に x 方向には変化していないからである。第1および第2の信号を電子プロセッサ480およびコンピュータ482で処理して、2本の基準線に沿うミラー51の平均の傾斜および局所的な傾斜を得る。すなわち、 $\langle dx/dy \rangle_4$ および $((dx/dy)_{1oca1})_4$ （それぞれ、基準線の一方に沿って）、ならびに $\langle dx/dy \rangle_5$ および $((dx/dy)_{1oca1})_5$ （それぞれ、2本の基準線の2番目に沿って）である。次に、 $\langle dx/dy \rangle_4$ 、 $((dx/dy)_{1oca1})_4$ 、 $\langle dx/dy \rangle_5$ 、および $((dx/dy)_{1oca1})_5$ を、電子プロセッサ480およびコンピュータ482内で、 $\langle dx/dy \rangle_4$ 、 $((dx/dy)_{1oca1})_4$ 、 $\langle dx/dy \rangle_5$ 、および $((dx/dy)_{1oca1})_5$ の積分変換を用いて処理して、第1および第2の $x - y$ 面内での2本の基準線の変位 $X_4(y)$ および $X_{40}(y)$ を y の関数として得る。第4の実施形態における処理の説明は、第1の実施形態における対応する処理に対して行なった説明と同じである。

【0124】

周期的な誤差の効果は、第4の実施形態のエンド・ユース用途において必要ならば、 $\langle dx/dy \rangle_4$ 、 $((dx/dy)_{1oca1})_4$ 、 $\langle dx/dy \rangle_5$ 、および $((dx/dy)_{1oca1})_5$ を決定する際に補正される。周期的な誤差の効果の補正のために用いられる技術の説明は、第1の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 5 】

測定経路 1 2 および 2 2 におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は、要求されるエンド・ユース用途に対して第 4 の実施形態において補正される。測定経路 1 2 および 2 2 におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は補正するために用いられる技術の説明は、第 1 の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【 0 1 2 6 】

第 4 の実施形態の利点は、ステージ・ミラーの反射面内の 2 本の基準線の形状を、ステージ 1 6 を z 方向に走査または変位させる必要なく決定できることである。

【 0 1 2 7 】

第 4 の実施形態の重要な特徴は、干渉計 1 0 および 2 0 をそれぞれ一体型の光学的アセンブリとすることで、測定精度に対する干渉計の安定性の増加とデザインのコンパクトさに寄与できることである。

10

【 0 1 2 8 】

第 4 の実施形態の残りの説明は、本発明の第 1 の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【 0 1 2 9 】

干渉計 1 0 および 2 0 の第 5 の実施形態は、ゼロ微分シャー・タイプである。これは、図 3 c および 3 d に 5 1 0 として概略的に示され、その構成は、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラー 5 0 および 6 0 の形状（ミラー 5 0 および 6 0 のそれぞれに対して一対の基準線によって表わされる）を、2 つの x - y 面内で高い空間分解能でその場でキャラクタライズできるようになされている。基準線対は、反射面 5 1 および 6 1 の表面内にある。

20

【 0 1 3 0 】

図 3 c および 3 d に概略的に示す干渉計サブシステム 5 1 0 には、2 つの干渉計サブシステムが含まれている。2 つの干渉計サブシステムはそれぞれ、第 2 の実施形態の干渉計サブシステム 2 1 0 と同じである。2 つの干渉計サブシステムは、距離 b_7 だけ z 方向に離されており、一体型の光学的アセンブリ内の積層物として組み合わされている。図 3 c および 3 d の同じ番号の要素は、図 3 c および 3 d において同様の機能を果たすのに十分なサイズの単一の要素を表わしているため、部品数が減り、一体型の光学的アセンブリの構成に寄与している。干渉計サブシステムによって、図 3 c および 3 d の距離 b_7 だけ離された 2 つの x - y 面内での反射面の、サブシステム測定軸に沿う反射面 5 1 の変位 s_5 および s_{50} の変化、平均の傾斜 $\langle dx/dy \rangle_5$ および $\langle dx/dy \rangle_{50}$ の変化、および平均の局所的な傾斜 $\langle (dx/dy)_{1oca1} \rangle_5$ および $\langle (dx/dy)_{1oca1} \rangle_{50}$ の変化が測定される。変位 s_5 および s_{50} は、図 3 c および 3 d のそれぞれにおける変位 s_5 および s_{50} に、それぞれ対応する。変位 s_5 、平均の傾斜 $\langle dx/dy \rangle_5$ 、および平均の局所的な傾斜 $\langle (dx/dy)_{1oca1} \rangle_5$ は、図 3 c の一方の x - y 面内にある。変位 s_{50} 、平均の傾斜 $\langle dx/dy \rangle_{50}$ 、および平均の局所的な傾斜 $\langle (dx/dy)_{1oca1} \rangle_{50}$ は、図 3 d の第 2 の x - y 面内にある。第 1 および第 2 の x - y 面は、z 方向に距離 b_7 だけ離されている。平均の傾斜および平均の局所的な傾斜の定義は、本発明の第 2 の実施形態において与えられた平均の傾斜および平均の局所的な傾斜の対応する定義と同じである。

30

40

【 0 1 3 1 】

x - y 面内での反射面 5 1 の平均の局所的な傾斜の変化を、反射面 5 1 によって y 方向に距離 b_6 だけ離された位置でそれぞれ一旦反射されている基準および測定ビームの方向の変化を測定することによって、決定する。

【 0 1 3 2 】

システム 1 5 は、通常は y 並進を測定するように動作するが、ミラー・キャラクタリゼーション・モードで動作するときは、ミラー面 5 1 の形状をその一対の基準線に沿ってその場で測定する。ミラー・キャラクタリゼーション・モードでは、ステージ 1 6 が y 方向に並進して、干渉計 1 0 の測定ビームが、ミラー面 5 1 を、z 方向に離れた一対の基準線

50

に沿って走査する。その結果、ミラー面 5 1 の角度方位および $x - y$ 面内での x 方向の面からの表面のずれとともに、ステージ 1 6 を動かす並進メカニズムの変動による寄与と、周期的な非線形性と、干渉計 1 0 および 2 0 のビームの測定経路におけるガスの定常的および非定常的な効果とを示す情報を含む信号が生成される。

【 0 1 3 3 】

y 方向でのステージ 1 6 の並進と同時に、干渉計 2 0 によってミラー 6 1 の方位を、反射面 6 1 との干渉計 2 0 の測定ビームの固定されたインターセプト・ポイントについて、モニタする。このステップによって、ステージ 1 6 の、その並進メカニズム（ベアリング、ドライブ・メカニズムなど）の機械的な寄与による回転を、測定することができる。この情報を用いて、2 つの信号が生成される。第 1 の信号は、干渉計 1 0 からのものであり、ステージ 1 6 の角度方位および反射面 5 1 の局所的な傾斜を組み合わせたものの変化と、ステージ 1 6 の角度方位および基準線対に沿う反射面 5 1 の平均の傾斜を組み合わせたものの変化とに関する 4 つの信号の組を含んでいる。第 2 の信号は干渉計 2 0 からのものであり、含まれる情報は、 y 方向の変位の関数としてのステージ 1 6 の角度方位に関するものである。

10

【 0 1 3 4 】

反射面 6 1 上の局所的な傾斜に関する情報は、反射面 5 1 内の 2 つの基準線の特徴を決定する際には用いない。と言うのは、ステージ 1 6 の位置は、 y 方向での走査の間には x 方向には変化していないからである。第 1 および第 2 の信号を電子プロセッサ 5 8 0 およびコンピュータ 5 8 2 で処理して、基準線対の一方に沿うミラー 5 1 の平均の傾斜および平均の局所的な傾斜についての情報、すなわち、それぞれ $\langle dx / dy \rangle_6$ および $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_6$ と、基準線対の 2 番目に沿うミラー 5 1 の平均の傾斜および平均の局所的な傾斜についての情報、すなわち、それぞれ $\langle dx / dy \rangle_7$ および $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_7$ と、を得る。次に、 $\langle dx / dy \rangle_6$ 、 $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_6$ 、 $\langle dx / dy \rangle_7$ 、および $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_7$ を、電子プロセッサ 4 8 0 およびコンピュータ 4 8 2 内で、 $\langle dx / dy \rangle_6$ 、 $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_6$ 、 $\langle dx / dy \rangle_7$ 、および $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_7$ の積分変換を用いて処理して、第 1 および第 2 の $x - y$ 面内での基準線対の変位 X_5 および X_{50} を y の関数として得る。第 5 の実施形態における処理の説明は、第 2 の実施形態における対応する処理に対して行なった説明と同じである。

20

30

【 0 1 3 5 】

干渉計 5 1 0 のゼロ微分ビーム・シャーという特性によって、干渉計 1 0 および 2 0 のそれぞれの 6 つの干渉計のそれぞれによって生成される電氣的な干渉信号内の周期的な誤差の振幅が小さくなる。これは、単一の光路干渉計を用いて、平均の傾斜を測定し、また直線の変位干渉計および局所的な傾斜干渉計に対する入力ビームを生成した結果である。しかし周期的な誤差の残りの効果は、第 5 実施形態のエンド・ユース用途で必要ならば、測定量 $\langle dx / dy \rangle_6$ 、 $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_6$ 、 $\langle dx / dy \rangle_7$ 、および $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_7$ を決定する際に補正される。周期的な誤差の残りの効果を補正するために用いられる技術の説明は、第 1 の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

40

【 0 1 3 6 】

測定経路 1 2 および 2 2 におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は、要求されるエンド・ユース用途に対して第 5 の実施形態において補正される。測定経路 1 2 および 2 2 におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は、補正するために用いられる技術の説明は、第 1 の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【 0 1 3 7 】

第 5 の実施形態の、ビーム直径および高い空間周波数情報、ゼロ微分シャー、および一体型の光学的アセンブリに関する利点は、本発明の第 2 の実施形態の対応する利点と同じである。第 5 の実施形態の残りの説明は、本発明の第 2 および第 4 の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

50

【 0 1 3 8 】

干渉計 1 0 および 2 0 の第 5 の実施形態の変形は、受動的ゼロ・シャー・タイプ、より具体的にはゼロ微分シャー・タイプである。これは、図 3 e および 3 f に 1 5 1 0 として概略的に示され、その構成は、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラー 5 0 および 6 0 の形状（ミラー 5 0 および 6 0 のそれぞれに対して一对の基準線によって表わされる）を、2 つの x - y 面内で高い空間分解能でその場でキャラクタライズできるようになされている。基準線対は、反射面 5 1 および 6 1 の表面内にある。第 5 の実施形態の変形が第 5 の実施形態と異なる点は、局所的な角度変位の情報を生成することである。第 5 の実施形態の変形においては、局所的な角度変位の変化が測定され、第 5 の実施形態においては、平均の局所的な角度変位の変化が測定される。第 5 の実施形態に対する第 5 の実施形態の変形は、第 2 の実施形態に対する第 2 の実施形態の変形と同様である。

10

【 0 1 3 9 】

第 5 の実施形態の変形の干渉計 1 0 および 2 0 には、第 2 の実施形態の変形の要素と同じ要素番号の要素が多く含まれている。同じ要素番号の要素は同様の機能を行なう。干渉計サブシステムは、距離 g だけ z 方向に離されており、一体型の光学的アセンブリ内で積層状に組み合わされている。図 3 e および 3 f の同じ番号の要素は、図 3 e および 3 f で同様の機能を果たすのに十分なサイズの単一の要素を表わしており、そのため、部品数が減り、一体型の光学的アセンブリの構成の一因となっている。図 3 e および 3 f の x - y 面内での反射面 5 1 の局所的な傾斜の変化は、反射面 5 1 によって一旦反射されたビームの方向変化を測定することによって決定される。

20

【 0 1 4 0 】

第 5 の実施形態の変形の重要な特徴は、干渉計 1 0 および 2 0 をそれぞれ一体型の光学的アセンブリとすることで、測定精度に対する干渉計の安定性の増加とデザインのコンパクトさに寄与できることである。

【 0 1 4 1 】

第 5 の実施形態の変形においては、本発明の第 2 の実施形態の変形および第 5 の実施形態と同様に、局所的な傾斜の変化および平均の傾斜の変化が測定される。結果として、第 5 の実施形態の変形の残りの説明は、第 1 の実施形態、第 2 の実施形態の変形、および第 5 の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

30

【 0 1 4 2 】

干渉計 1 0 および 2 0 の第 6 の実施形態は、ゼロ・シャー・タイプである。これは、図 3 g に 6 1 0 として概略的に示され、その構成は、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラー 5 0 および 6 0 の形状（ミラー 5 0 および 6 0 のそれぞれに対して一对の基準線によって表わされる）を、2 つの x - y 面内で高い空間分解能でその場でキャラクタライズできるようになされている。基準線の対は、反射面 5 1 および 6 1 内にある。

【 0 1 4 3 】

図 3 g に概略的に示す干渉計サブシステム 6 1 0 には、共通のビーム・ステアリング部材を共有する 2 つの干渉計サブシステムが含まれている。干渉計サブシステムはそれぞれ、第 3 の実施形態の干渉計サブシステム 3 1 0 と同じであるが、図 3 h に示すように、互いのミラー画像である中心のサブアセンブリを有する。干渉計サブシステムは、距離 b だけ z 方向に離されて、一体型の光学的アセンブリ内で組み合わされている。図 3 g および 3 h の同じ番号の要素は、図 3 g および 3 h で同様の機能を果たすのに十分なサイズの単一の要素を表わしており、そのため、部品数が減り、一体型の光学的アセンブリの構成の一因となっている。干渉計サブシステムによって、システム測定軸に沿う反射面 5 1 の変位の変化と、距離 g だけ離れた 2 つの x - y 面内での反射面の平均の傾斜の変化および局所的な傾斜の変化とが、測定される。図 3 h は、図 3 g の中心のサブアセンブリの概略的な分解斜視図であり、種々の P B S、ポロ・プリズム、および他のプリズム部材を含んでいる。

40

50

【 0 1 4 4 】

システム 1 5 は、通常は y 並進を測定するように動作するが、特別なミラー・キャラクター化・モードで動作するときは、ミラー面 5 1 の形状をその 2 つの x - y 面内での一対の基準線に沿ってその場で測定する。ミラー・キャラクター化・モードでは、ステージ 1 6 が y 方向に並進して、干渉計 1 0 の測定ビームが、ミラー面 5 1 を基準線に沿って走査する。その結果、ミラー面 5 1 の角度方位および 2 つの x - y 面内での x 方向の面からの表面のずれとともに、ステージ 1 6 を動かす並進メカニズムの変動による寄与と、周期的な非線形性と、干渉計 1 0 および 2 0 のビームの測定経路におけるガスの定常的および非定常的な効果とを示す情報を含む信号が生成される。

【 0 1 4 5 】

y 方向でのステージ 1 6 の並進と同時に、干渉計 2 0 によってミラー 6 1 の方位を、反射面 6 1 との干渉計 2 0 の測定ビームの固定されたインターセプト・ポイントについて、モニタする。このステップによって、ステージ 1 6 の、その並進メカニズム（ベアリング、ドライブ・メカニズムなど）の機械的な寄与による回転を、測定することができる。この情報を用いて、2 つの信号が生成される。第 1 の信号は、干渉計 1 0 からのものであり、ステージ 1 6 の角度方位および反射面 5 1 の局所的な傾斜を組み合わせたものの変化と、ステージ 1 6 の角度方位および基準線対に沿う反射面 5 1 の平均の傾斜を組み合わせたものの変化とに関する 4 つの信号の組を含んでいる。第 2 の信号は干渉計 2 0 からのものであり、含まれる情報は、y 方向の変位の関数としてのステージ 1 6 の角度方位に関するものである。

【 0 1 4 6 】

反射面 6 1 上の局所的な傾斜に関する情報は、反射面 5 1 内の 2 本の基準線の特徴を決定する際には用いない。と言うのは、ステージ 1 6 の位置が、y 方向の走査の間に x 方向には変化していないからである。第 1 および第 2 の信号を電子プロセッサ 6 8 0 およびコンピュータ 6 8 2 で処理して、基準線対の一方に沿うミラー 5 1 の平均の傾斜および局所的な傾斜についての情報、すなわち、それぞれ $\langle dx / dy \rangle_g$ および $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_g$ 、ならびに基準線対の 2 番目に沿うミラー 5 1 の平均の傾斜および局所的な傾斜についての情報、すなわち $\langle dx / dy \rangle_g$ および $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_g$ を得る。次に、平均の傾斜および局所的な傾斜を、電子プロセッサ 6 8 0 およびコンピュータ 6 8 2 内で積分変換を用いて処理して、第 1 および第 2 の x - y 面内での基準線対の変位を y の関数として得る。第 6 の実施形態における処理の説明は、第 1 の実施形態における対応する処理に対して行なった説明と同じである。

【 0 1 4 7 】

干渉計 6 1 0 のゼロ微分ビーム・シャーという特性によって、干渉計 1 0 および 2 0 のそれぞれの 6 つの干渉計のそれぞれによって生成される電気的な干渉信号内の周期的な誤差の振幅が小さくなる。しかし周期的な誤差の残りの効果は、第 6 の実施形態のエンド・ユース用途において必要ならば、測定量 $\langle dx / dy \rangle_g$ 、 $(dx / dy)_g$ 、 $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_g$ 、および $\langle (dx / dy)_{local} \rangle_g$ を決定する際に補正される。周期的な誤差の残りの効果を補正するために用いられる技術の説明は、第 1 の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【 0 1 4 8 】

測定経路 1 2 および 2 2 におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は、要求されるエンド・ユース用途に対して第 6 の実施形態において補正される。測定経路 1 2 および 2 2 におけるガスの定常的および非定常的な変化の効果は、補正するために用いられる技術の説明は、第 1 の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【 0 1 4 9 】

第 6 の実施形態の重要な特徴は、干渉計 1 0 および 2 0 をそれぞれ一体型の光学的アセンブリとすることで、測定精度に対する干渉計の安定性の増加とデザインのコンパクトさとに寄与できることである。

【 0 1 5 0 】

10

20

30

40

50

ゼロ・シャーに関する第6の実施形態の利点は、本発明の第3の実施形態における対応する利点と同じである。第6の実施形態の残りの説明は、本発明の第3、第4、および第5の実施形態において行なった説明の対応する部分と同じである。

【0151】

本発明の次の4つの実施形態では、反射面51および61のそれぞれにおける一对の基準線と、基準線の周りの反射面の局所的な角度回転とが、高い空間分解能で決定される。一对の基準線の基準線は、2つのx-y面内にある。

【0152】

第7、第8、第8の変形、および第9の実施形態のそれぞれには、第4、第5、第5の変形、および第6の実施形態のそれぞれの装置および方法と、追加の角度変位干渉計とが含まれている。第8の実施形態には、第5の実施形態および追加の角度変位干渉計が含まれる。追加の角度変位干渉計によって、個々の基準線対に沿うx-y面に直交する面内の局所的な傾斜の変化を測定する。個々の基準線対を決定する手順は、本発明の第4、第5、第5の変形、および第6の実施形態の個々の手順と同じである。

【0153】

第7の、第8の、第8の変形、および第9の実施形態における追加の角度変位干渉計は、図2に示した干渉計1010と同じである。追加の干渉計の方位は、x-y面に直交する面内(すなわちz軸方向)の個々のビームの方向の変化に対する感度が良くなるように選ばれる。たとえば、第4の実施形態を第7の実施形態に変えるには、ビーム436および1436の一部をビーム・スプリッタBS10によって分離して、その部分を追加の角度変位干渉計1010Aへ送る(図4を参照)。角度変位干渉計1010Aは、x-y面に直交する面内の分離部分の方向の変化に対する感度が良くなるように90度回転していること以外は、図3aの干渉計1010と同じである。第8の実施形態における追加の角度変位干渉計に含まれる干渉計は、一对のビームの平均の方向とそのビーム対の方向の差とを測定する。

【0154】

次に図5を参照する。図5は、細長いオブジェクト・ミラーのアレイの形状を、その場で高い空間分解能で、複数の直交する基準線に沿ってキャラクタライズすることができる3つの直交配置された干渉計システムを用いる干渉分光システム1015を示す概略的な斜視図である。図5に示すように、システム1015には、ステージ16が含まれる。ステージ16は好ましくは、半導体製品たとえば集積回路またはチップを作製するためのフォトリソグラフィの装置の一部を形成する。ステージには、平面鏡70および60を含みx方向およびy方向に細長い薄い高アスペクト比の測定対象物が、取り付けられている。ミラー60は、x方向に細長いx-z反射面61を有し、ミラー70は、y方向に細長いy-z反射面71およびx-y反射面72を有する。ステージは、2つの直交する方向であるxおよびyに沿って並進する。実質的にz方向には走査しない。

【0155】

オフ・ステージで固定してマウントされる干渉計(または干渉計サブシステム)を、概略的に10で示す。干渉計10の目的は、図1の干渉計10の目的と同じであり、一般的に、ステージ16のx方向の位置と、ステージ16がy方向に並進するときのyおよび/またはz軸の周りの角度回転とを測定すること、したがって反射面71のx方向の位置と、ステージ16がy方向に並進するときのyおよび/またはz軸の周りの角度回転とを、測定することである。これを行なうために、干渉計10を多くの干渉分光法のタイプの1つとして構成して配置しても良い。たとえば、これらに限定されないが、本発明の最初の9つの実施形態およびそれらの変形の干渉計10に対して用いられる干渉計システムが挙げられる。干渉計12の干渉分光ビームは、ミラー70との間で、概略的に12と指定される光学経路に沿って移動する。

【0156】

オフ・ステージで固定してマウントされる他の干渉計または干渉計サブシステムを、概略的に20で示す。干渉計20の目的は、図1の干渉計20の目的と同じであり、一般的

10

20

30

40

50

に、ステージ 16 の y 方向の位置と、ステージ 16 が x 方向に並進するときの x および / または z 軸の周りの角度回転とを測定すること、したがって反射面 61 の y 方向の位置と、ステージ 16 が x 方向に並進するときの x および / または z 軸の周りの角度回転とを、測定することである。これを行なうために、干渉計 20 を多くの干渉分光法のタイプの 1 つとして構成して配置しても良い。たとえば、これらに限定されないが、本発明の最初の 9 つの実施形態およびそれらの変形の干渉計 20 に対して用いられる干渉計システムが挙げられる。これを行なうために、干渉計 20 は、干渉分光ビームをミラー面 61 との間で、概略的に 22 と指定される光学経路に沿って送受する。

【0157】

オフ・ステージで固定してマウントされる第 3 の干渉計または干渉計サブシステムを、概略的に 30 で示す。干渉計 30 の目的は一般的に、ステージ 16 の z 方向の位置と、ステージ 16 が x および y 方向に並進するときの x および / または y 軸の周りの角度回転とを測定すること、したがって反射面 61 の y 方向の位置と、ステージ 16 が x および y 方向に並進するときの x および / または y 軸の周りの角度回転とを、測定することである。これを行なうために、干渉計 30 は、干渉分光ビームをミラー面 71 との間で、概略的に 32 と指定される光学経路に沿って送受する。

10

【0158】

これを行なうために、干渉計 30 を多くの干渉分光法のタイプの 1 つとして構成して配置しても良い。たとえば、これらに限定されないが、本発明の最初の 9 つの実施形態およびそれらの変形の干渉計 10 および 20 に対して用いられる干渉計システムが挙げられる。

20

【0159】

測定ビームの伝搬方向の変化を測定するように変更して干渉計 30 として用いても良い単一光路干渉計の例が、以下の文献に記載されている。共通所有の米国特許出願第 09 / 853、114 号明細書 (2001 年 5 月 10 日に出版)、発明の名称「そのばミラー・キャラクターゼーション」(ヘンリ A・ヒル)、2001 年 1 月 1 日に公開 (公開番号 US - 2001 - 0035959 - A1)。この内容は本明細書において参照により全体として取り入れられている。

【0160】

測定ビームの伝搬方向の変化を測定するように変更して干渉計 30 として使用できる複光路干渉計が、たとえば以下の文献に記載されている。共通所有の米国特許出願第 09 / 852、898 号明細書 (2001 年 5 月 10 日に出版)、発明の名称「表面上の高度を正確に測定するための干渉分光装置および方法」(ヘンリ A・ヒル)、2001 年 1 月 29 日に公開 (公開番号 US - 2001 - 0046053 - A1)。この内容は本明細書において参照により全体として取り入れられている。

30

【0161】

干渉計 30 には一般的に、オフ・ステージで取り付けられた細長い基準ミラー、たとえば以下の文献に記載されているものが含まれている。引用された米国特許出願第 09 / 853、114 号明細書、2001 年 1 月 1 日に公開 (公開番号 US - 2001 - 0035959)、米国特許出願第 09 / 852、898 号明細書、2001 年 1 月 29 日に公開 (公開番号 US - 2001 - 0046053 - A1)。またミラー 71 には、x - y 面に対して 45 度などの角度で配向された細長い表面が含まれていても良い。

40

【0162】

反射面 61 および 71 に対する基準線と基準線の周囲の局所的な表面の回転とを、本発明の最初の 9 つの実施形態およびそれらの変形において説明したような手順によって決定する。

【0163】

反射面 71 などの反射面内の基準線と、オフ・ステージで取り付けられた対応する基準ミラーと、45 度などの角度で配置された反射面および基準線の周りの反射面の局所的な回転とを、ステージ 16 が x および y 方向に走査されるときに、干渉計 30 によって決定

50

する。決定は、干渉計 10 および 20 から得られるステージ方位についての情報と、反射面 61 および 71 に対する基準線と基準線の周りの局所的な表面の回転との決定に対して説明された手順とを用いて、行なう。

【0164】

本発明の装置の多くの実施形態およびそれらの変形について説明してきたが、次に図6のフロー・チャートを参照する。ここでは、オブジェクト・ミラーのトポグラフィックな特徴をその場でキャラクタライズするための一般的な方法論が例示されている。

【0165】

ブロック700で方法を開始して、その後ブロック702のステップが続く。ここでは、少なくとも1つの細長い平面オブジェクト・ミラーを、面内で動かすために並進ステージ上にマウントする。あるいは、開始ステップ700を、ステップ702を予め行なった後に始めるものとして考えても良く、また開始ステップ700の始まりが、良く知られた方法で、たとえばコンピュータ・ワーク・ステーションを介したオペレータからの命令によって、行なわれることに注意されたい。

10

【0166】

ブロック704のステップでは、少なくとも一対の空間的に離されたビームを、第1の干渉計からオブジェクト・ミラーへ送る。ここでは、複数の干渉計を用いても良く、何らかの追加の干渉計によって空間的なビームの対を、しかし平行または直交する面内で互いにずれている面内のミラーに送るようにしても良い。これは、任意にステップ704およびその後のステップと同時に開始しても良いブロック720の場合と同じである。

20

【0167】

ブロック706では、ステージをミラーの細長い寸法に沿って動かす一方で、ビームをステージ上に投影してビームがミラー面を少なくとも1つの基準線に沿って走査するようにする。ステップ720が導入されている場合には、少なくとももう1本の基準線が、他方の基準線が存在する面に直交する面内に存在することに注意されたい。

【0168】

ブロック708では、ミラーからの戻りビームを両方ともモニタして、2つのビームが入射するミラー上の点におけるミラーの変位を、基準線に沿って、ミラーを走査する間に測定して、基準線の平均の傾斜を計算する。

【0169】

30

ブロック710では、戻りビームのうちの、ミラーに対して単一の光路のみを形成した少なくとも一方の成分を角度測定用干渉計によってモニタして、その方向の変化を測定することを、ミラーを走査して基準線に沿うミラー面の局所的な傾斜についての情報を含む信号を生成する間に行なう。

【0170】

ブロック712では、ステージ角度方位の測定を、ステージがミラーの長い寸法の方向に移動するときと並進しないステージ上の位置にある他の直交配置された第2の干渉計を用いて、行なう。

【0171】

ブロック714では、2つのビームからの変位および平均の傾斜の情報、角度測定用干渉計からの局所的な傾斜の情報、およびステージの角度方位を収集して統合する。

40

【0172】

ブロック716では、統合された情報を処理して、使用した1つまたは複数の基準線に沿ってのミラー・トポグラフィを得る。情報の処理は、好適な電子プロセッサおよびコンピュータによって、好ましくは前述した $\langle dx / dy \rangle$ および $(dx / dy)_{local}$ の積分変換を用いて行なう。しかし当業者であれば、他の処理アルゴリズム、たとえばフーリエ変換、多項式または他の形態の直交表現などを用いても有益であると考えられることを理解するであろう。

【0173】

ブロック718では、以前のステップを、直交してマウントされるミラーに対して、必

50

要に応じて繰り返しても良い。

【0174】

ブロック722では、他の干渉計を任意に用いて、基準線の周りのミラー面の回転を測定しても良い。

【0175】

前述の方法を実施する際には、すでに説明または参照した干渉分光装置の1つまたは複数を用いても良いことが明らかである。

【0176】

本発明の特定の実施形態および方法について説明してきたが、これらの変形が、本発明の教示に基づいて当業者には明らかである。たとえば、種々の干渉計サブシステムの1つまたは複数を並進ステージ上にマウントしてステージと一緒に動かす一方で、対応するミラーを、基準座標系に対して固定してマウントしても良いことが明らかである。また干渉計サブシステムを種々の積層アレイで構成して、複数の干渉分光測定ビームを与え、これらを、走査方向に直交する方向にずれている1つまたは複数の基準線に沿う局所的な傾斜を測定するように選択的に動作可能として、生成された局所的な傾斜情報を積分してまたは別な方法で数学的に処理して、局所的なミラー形状を決定するようにしても良いことが明らかである。また本発明のステージおよび細長いミラーは、モノリシック構造として形成しても良く、高アスペクト比のミラーである必要はなく、厚くすることができ、また屈折性部材たとえば反射機能を果たすプリズム光学部材で形成できるということが明らかである。したがって、このような変形はすべて、添付の特許請求の範囲に含まれることが意図されている。

【図面の簡単な説明】

【0177】

【図1】図1は、直交して配置された一对の干渉計または干渉計サブシステムを用いる干渉分光システムを示す概略的な斜視図であり、この干渉計または干渉計サブシステムによって、オン・ステージでマウントされる細長いオブジェクト・ミラーの形状を、その場で高い空間分解能で1つまたは複数の基準線に沿ってキャラクタライズすることができる。

【図2a】図2aは、図1の干渉計の第1の実施形態を示す概略的な平面図であり、平面鏡タイプの形態である。

【図2b】図2bは、図2aの実施形態で用いられる角度変位干渉計を概略的に示す。

【図2c】図2cは、図1の干渉計の第2の実施形態を示す概略的な平面図であり、受動的ゼロ・シャー・タイプ、より具体的にはゼロ微分シャー・タイプである。

【図2d】図2dは、図1の干渉計の第2の実施形態の変形を示す概略的な平面図であり、受動的ゼロ・シャー・タイプ、より具体的にはゼロ微分シャー・タイプである。

【図2e】図2eは、図1の干渉計の第3の実施形態を示す概略的な平面図であり、能動的ゼロ・シャー・タイプの干渉計を備えている。

【図2f】図2fは、図2eの実施形態の一部を示す概略的な分解斜視図である。

【図2g】図2gは、ある特定ビームの、図2fに示すコンポーネントのアセンブリの1つのブランチを通して伝搬するときの経路を示す概略的な斜視図である。

【図3a】図3aおよび3bは、図1の干渉計の第4の実施形態を示す概略的な平面図であり、2つの干渉計サブシステムを含む平面鏡タイプである。2つの干渉計サブシステムはそれぞれ、第1の実施形態の干渉計サブシステムと同じである。2つの干渉計サブシステムは、距離 b_5 だけz方向に離されて、一体型の光学的アセンブリ内で組み合わされている。

【図3b】図3aおよび3bは、図1の干渉計の第4の実施形態を示す概略的な平面図であり、2つの干渉計サブシステムを含む平面鏡タイプである。2つの干渉計サブシステムはそれぞれ、第1の実施形態の干渉計サブシステムと同じである。2つの干渉計サブシステムは、距離 b_5 だけz方向に離されて、一体型の光学的アセンブリ内で組み合わされている。

【図3c】図3cおよび3dは、第5の実施形態を含む2つの干渉計サブシステムを概略

10

20

30

40

50

的に示す。2つの干渉計サブシステムはそれぞれ、第2の実施形態の干渉計サブシステムと同じである。

【図3d】図3cおよび3dは、第5の実施形態を含む2つの干渉計サブシステムを概略的に示す。2つの干渉計サブシステムはそれぞれ、第2の実施形態の干渉計サブシステムと同じである。

【図3e】図3eおよび3fは、図1の干渉計の第5の実施形態の変形を概略的に示しており、受動的ゼロ・シャー・タイプ、より具体的にはゼロ微分シャー・タイプである。

【図3f】図3eおよび3fは、図1の干渉計の第5の実施形態の変形を概略的に示しており、受動的ゼロ・シャー・タイプ、より具体的にはゼロ微分シャー・タイプである。

【図3g】図3gは、ゼロ・シャー・タイプの図1の干渉計の第6の実施形態を示す概略的な平面図である。

【図3h】図3hは、図3gのある特定のコンポーネントのサブアセンブリを示す概略的な分解斜視図である。

【図4】図4は、本発明のさらなる実施形態で使用するための直交面内での局所的な角度変位を測定するために配置された干渉計を示す概略図である。

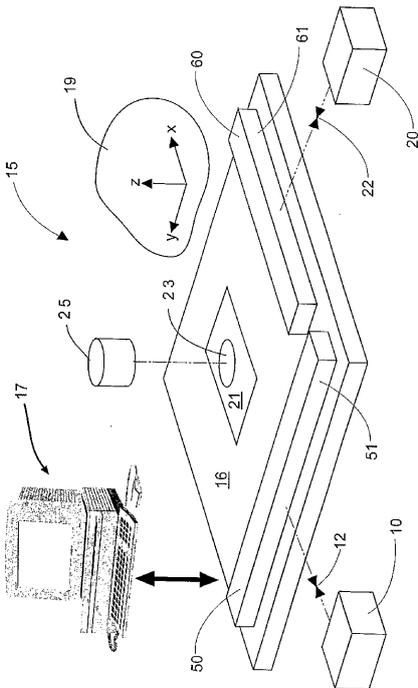
【図5】図5は、細長いオブジェクト・ミラーのアレイの形状をその場でキャラクタライズすることができる3つの直交配置された干渉計システムを用いる干渉分光システムを示す概略的な斜視図である。

【図6】図6は、ミラーのトポグラフィックな特徴をその場でキャラクタライズするための一般的な方法を示すフロー・チャートである。

10

20

【図1】



【図2a】

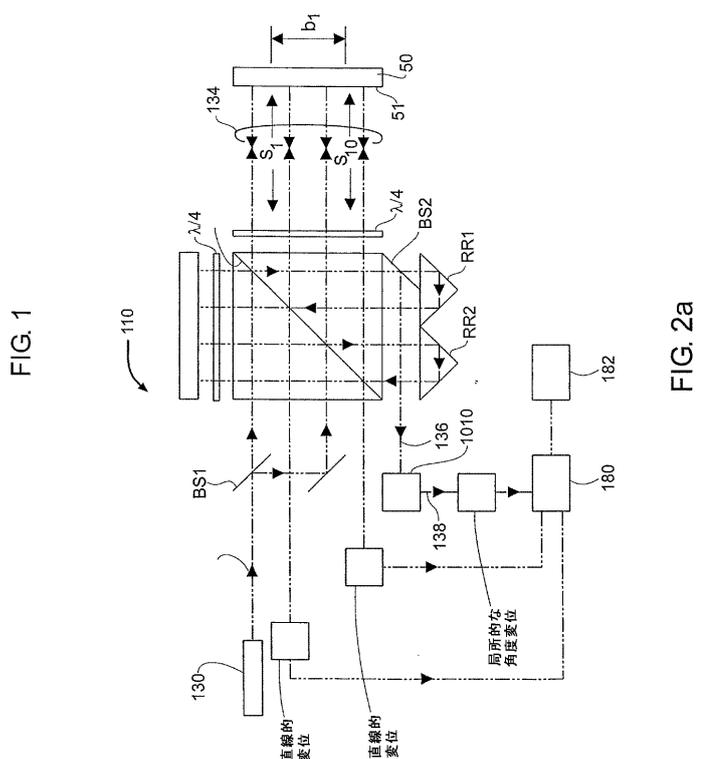


FIG. 1

FIG. 2a

【図 2 f】

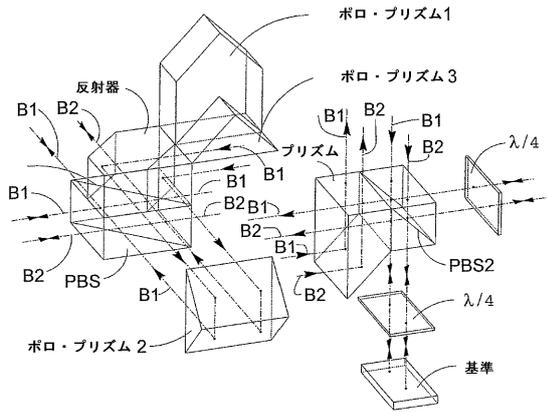


FIG. 2f

【図 2 g】

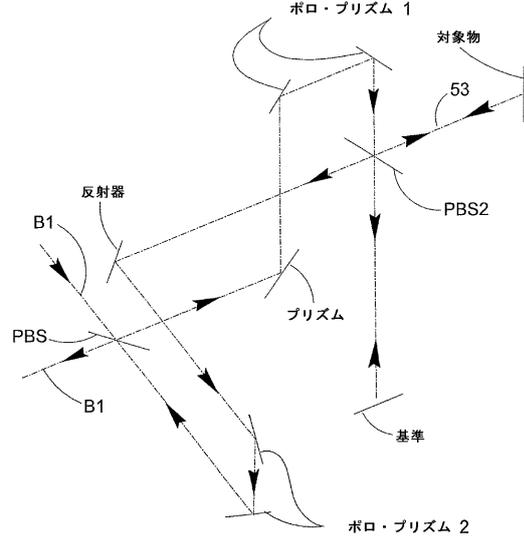


FIG. 2g

【図 3 a】

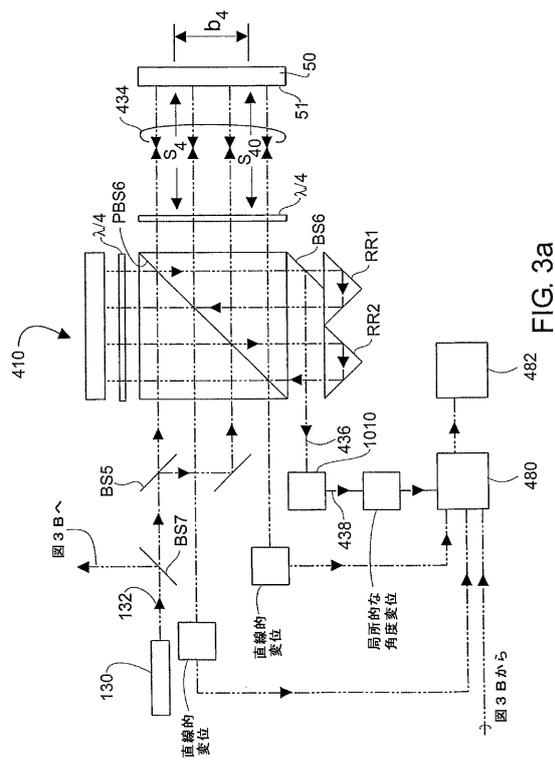


FIG. 3a

【図 3 b】

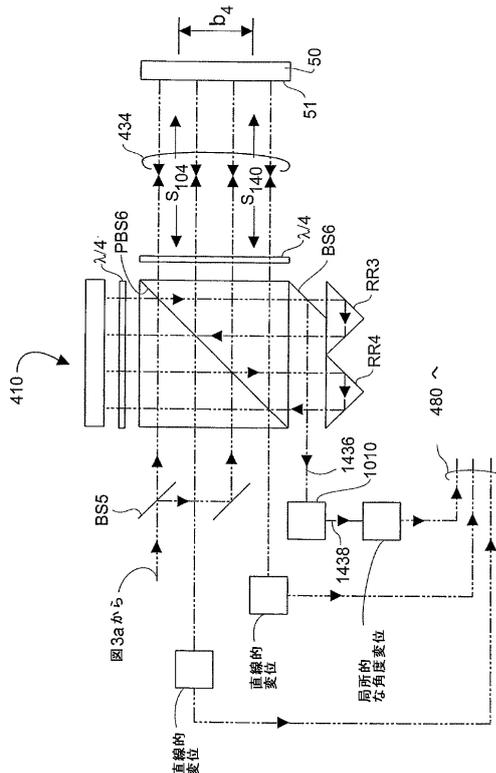
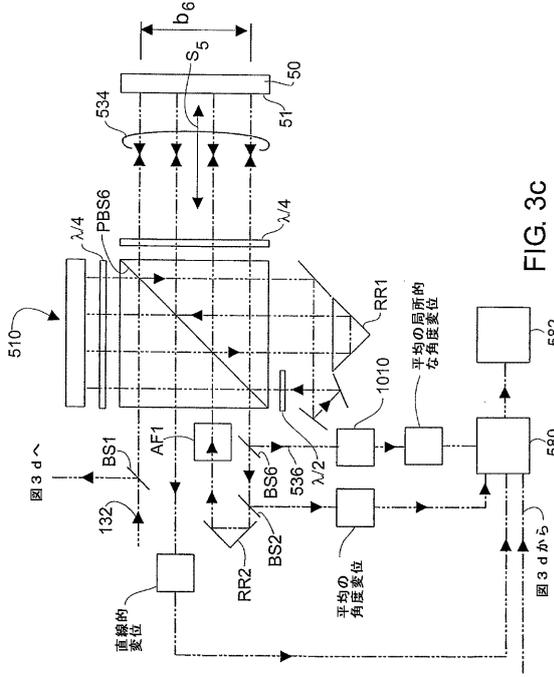
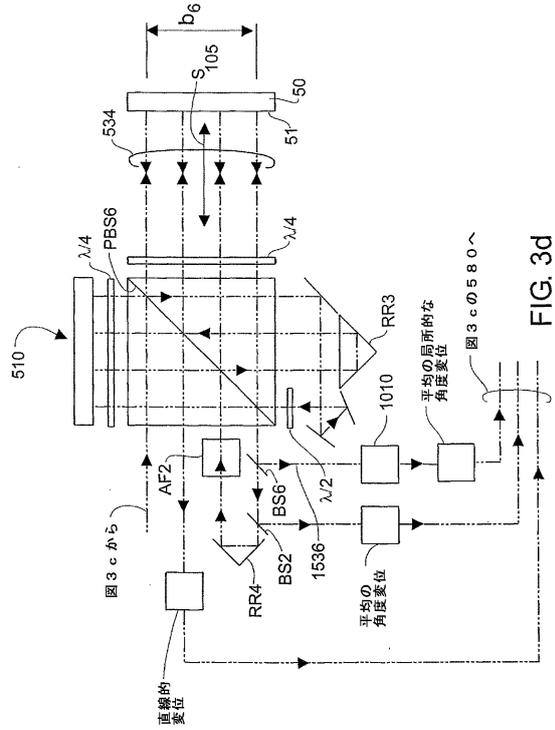


FIG. 3b

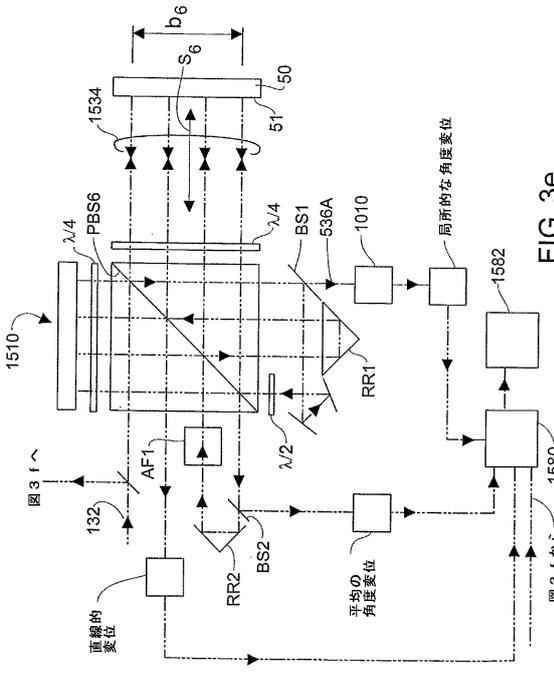
【図3c】



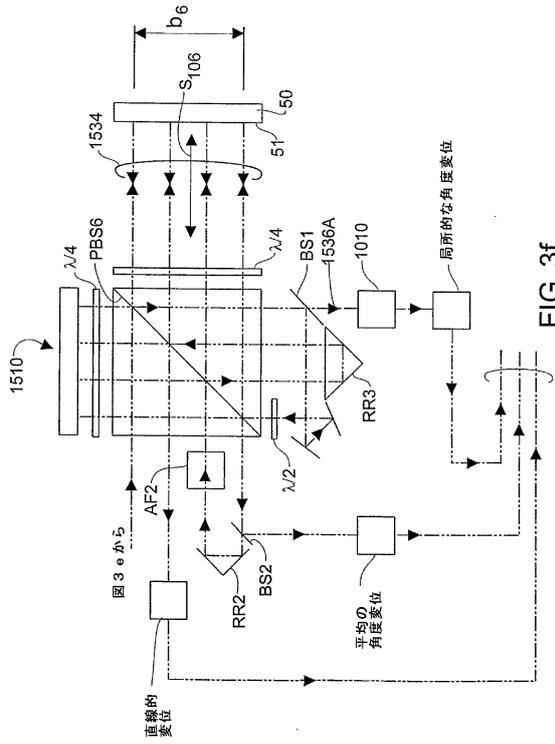
【図3d】



【図3e】



【図3f】



【図6】

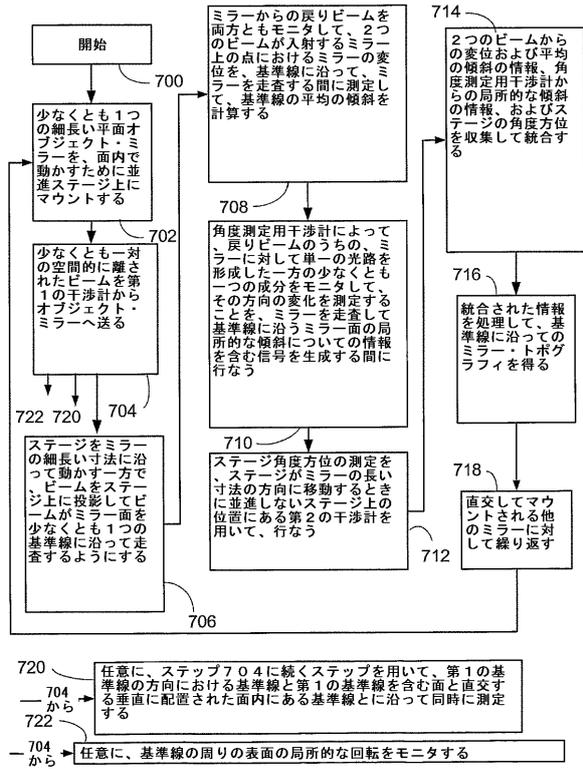


FIG. 6

フロントページの続き

審査官 岡田 卓弥

(56)参考文献 特開平3 - 10105 (JP, A)
特開平7 - 253304 (JP, A)
国際公開第00 / 22376 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 9/00 -11/30
H01L21/027