

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-52022
(P2007-52022A)

(43) 公開日 平成19年3月1日(2007.3.1)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00 G	2 F 0 6 4
GO 1 B 9/02 (2006.01)	GO 1 B 9/02	2 F 0 6 5
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 O 3 A	5 F 0 4 6
GO 3 F 7/20 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 2 6 A	
	GO 3 F 7/20 5 2 1	

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2006-220948 (P2006-220948)
 (22) 出願日 平成18年8月14日 (2006.8.14)
 (31) 優先権主張番号 11/205,368
 (32) 優先日 平成17年8月16日 (2005.8.16)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 399117121
 アジレント・テクノロジーズ・インク
 AGILENT TECHNOLOGIES, INC.
 アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト
 ページ・ミル・ロード 395
 395 Page Mill Road
 Palo Alto, California
 U. S. A.
 (74) 代理人 100075513
 弁理士 後藤 政喜
 (74) 代理人 100078053
 弁理士 上野 英夫
 (74) 代理人 100114236
 弁理士 藤井 正弘

最終頁に続く

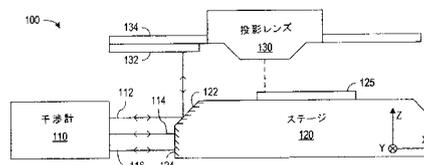
(54) 【発明の名称】 物体を測定するためのシステム及び垂直変位を測定するための方法

(57) 【要約】

【課題】 物体高度の測定のために動的測定範囲を拡大できるシステムを提供する。

【解決手段】 本発明のシステムには、物体(120)に取り付けられ、測定ビームをX方向の進行からZ方向の進行に変更する測定反射器(122)と、物体に取り付けられて、X方向の参照ビームを逆転させて戻す参照反射器(124)と、測定反射器への単一通過のため、測定ビームをX方向に仕向け、参照反射器への初回と2回目の通過のため、参照ビームをX方向に仕向ける光学系(110)と、物体の上方で、測定ビームを測定反射器に戻し次いで測定反射器が光学系に戻すようにする上置反射器(132)と、参照ビームの2回目の通過と測定ビームの単一通過の完了後、Z方向における物体の相対的変位を表す、測定ビームと参照ビームの差、を測定する検出器(250)とを備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

物体に取り付けられて、X方向で進行する測定ビームを方向転換させてZ方向での進行に変更するように配向された測定反射器と、

前記物体に取り付けられて、前記X方向で進行する参照ビームの向きを転換して、逆向きに戻す参照反射器と、

前記測定反射器への単一通過のため前記測定ビームを前記X方向で仕向け、前記参照反射器への初回の通過とその後の前記参照反射器への2回目の通過のため、前記参照ビームを前記X方向で仕向ける光学系と、

前記物体の上方にあって、前記測定ビームを前記測定反射器に戻すように配置されており、その結果、前記測定反射器は該戻された前記測定ビームの向きを転換して前記光学系に戻すようになる、上置反射器と、

前記参照ビームの前記2回目の通過が完了し、前記測定ビームの前記単一通過が完了した後、前記Z方向における前記物体の相対的変位を表す、前記測定ビームと前記参照ビームの差、を測定する検出器とを備えることを特徴とする、

物体を測定するためのシステム。

10

【請求項 2】

前記光学系に、

入射ビームを分割して、前記測定ビームと前記参照ビームを形成するように配置された偏光ビーム分割器と、

前記測定ビームと前記参照ビームの一方を前記X方向に方向転換する反射鏡と、

前記参照ビームの光路内にある四分の一波長板と、

前記参照反射器からの反射され、前記偏光ビーム分割器を経由した前記参照ビームを受光するように配置された再帰反射器とが含まれており、

前記参照ビームが、前記再帰反射器によって、前記参照反射器への前記2回目の通過のため、前記偏光ビーム分割器を経由して戻る光路に仕向けられることを特徴とする、

請求項1に記載の物体を測定するためのシステム。

20

【請求項 3】

前記再帰反射器が、第2のポロ・プリズム、コーナ・キューブ、および、キャッツ・アイからなるグループから選択されることを特徴とする、請求項2に記載の物体を測定するためのシステム。

30

【請求項 4】

前記上置反射器に第1のポロ・プリズムが含まれることを特徴とする、請求項1から請求項3のいずれか一項に記載の物体を測定するためのシステム。

【請求項 5】

前記上置反射器が、YZ平面内でビームを再帰反射する配向が施されていることを特徴とする、請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の物体を測定するためのシステム。

【請求項 6】

前記測定反射器が、平面鏡およびペンタ・プリズムからなるグループから選択されることを特徴とする、請求項1から請求項5のいずれか一項に記載の物体を測定するためのシステム。

40

【請求項 7】

干渉計と測定される物体との離隔方向に対して垂直な変位を測定するための垂直変位を測定するための方法であって、

(a) 測定ビームを仕向けて、前記物体上に取り付けられた第1の反射器から反射させ、前記第1の反射器によって、前記測定ビームが、前記干渉計と前記物体との離隔方向に対して垂直な成分を有する第1の方向に向けられるようにするステップと、

(b) 前記第1の方向に沿って前記第1の反射器から離隔された第2の反射器を利用して、前記測定ビームを反射し、前記第1の反射器に戻すステップと、

(c) 参照ビームを仕向けて、前記物体上に取り付けられた第3の反射器から反射させ

50

るステップと、

(d) 前記変位を表す、前記参照ビームと前記測定ビームとの差を測定するステップとを有することを特徴とする、
変位測定方法。

【請求項 8】

前記差の測定ステップに、

前記測定ビームと前記基準ビームを結合して、結合ビームを形成するステップと、

前記結合ビームのうなり周波数を測定して、前記測定ビームの残留ドップラ・シフトを識別するステップが含まれることと、前記ドップラ・シフトが、前記干渉計と、前記物体との離隔方向に対して垂直な成分を備える前記変位を表わすことを特徴とする、

請求項 7 に記載の垂直変位を測定するための方法。

10

【請求項 9】

前記第 2 の反射器にポロ・プリズムが含まれることを特徴とする、請求項 7 または請求項 8 に記載の垂直変位を測定するための方法。

【請求項 10】

さらに、ステップ (d) の実行前に、ステップ (c) を反復するステップが含まれることを特徴とする、請求項 7 から請求項 9 のいずれか一項に記載の垂直変位を測定するための方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は物体の移動の測定に関し、特に垂直移動も測定できる簡易な装置に関する。

【背景技術】

【0002】

平面鏡干渉計を利用して、ウェーハ処理システムにおける精密ステージの位置、配向、および、移動を測定することが可能である。こうした用途の場合、一般に、測定されるステージに平面鏡が取り付けられ、干渉計が、1つあるいは複数の測定ビームを送り出して、平面鏡から反射させる。各測定ビームは、一般に、別個の干渉計チャンネルに対応するが、通例、二重通過型（デュアルパス）干渉計と呼ばれる一部の干渉計では、平面鏡から 2 つの反射を生じさせるように各測定ビームを仕向けた後、測定ビームと参照ビームを結合し、信号処理を行って、測定結果を出す。

30

【0003】

多数の干渉計チャンネルが同じ平面鏡を利用することで、ある平面上の離隔した点までの距離を測定し、その結果、1つのステージの多自由度を測定することが可能である。すなわち、同じ平面鏡上の 3 つの別個の点における並進を測定する 3 つの干渉計チャンネルは、X 軸またはビーム軸に沿ったステージの並進、X 軸に対して垂直な Y 軸まわりにおけるステージのピッチ回転、および、X および Y 軸に対して垂直な Z 軸まわりにおけるステージのヨー回転を識別することが可能である。システムがアップ・エラー、すなわち、ステージの回転に起因する変位エラーの影響を受けやすい場合、ステージの回転を測定することが重要になる。

40

【0004】

平面鏡干渉計の各チャンネルの動的測定範囲は、平面鏡の回転（例えば、ピッチ回転）によって測定ビームが偏向し、反射測定ビームが参照ビームとの再結合に必要な光路を「ふみはずす（ウォーク・オフ）」可能性があるため、一般に制限される。構成によっては、測定に関するダイナミック・レンジが、測定ビーム半径 w を測定ビームの光路長（例えば、干渉計から複光路干渉計の平面鏡まで延びる距離 L の約 4 倍）で割った値にほぼ等しいものもある。従って、回転測定のダイナミック・レンジは、一般に、約 $w / 4 L$ ラジアンに制限される。ビーム幅 w が増すと、動的測定範囲を拡大することが可能になる。しかしながら、ビーム幅を増すには、一般に、より大きい、従って、より高価な光学素子が必要になり、ウェーハ処理装置のような複雑なシステムには、大型干渉計に十分なスペースが

50

ない可能性がある。

【0005】

別個の平面鏡干渉計を利用して、Z軸（すなわち、投影レンズの焦点軸）に沿ったステージの位置または移動を測定することも可能である。しかしながら、この干渉計が、ステージの投影レンズ側にある場合、投影領域外の平面鏡を含めるため、ステージをより大きくする必要があり、この結果、ウェーハのスループットが減少する可能性がある。あるいはまた、干渉計が投影レンズの反対側にある場合、一般に、ステージ下の石のような中間基準が必要になるが、これによって、投影レンズに対する中間基準の相対位置の追加測定が必要になる。

【0006】

先行技術文献（例えば、特許文献1および2参照）には、ステージの高度を測定することが可能な干渉計システムの記載がある。こうしたシステムの場合、ステージに取り付けられた反射器が、（X軸に沿った）水平入射光路から（Z軸に沿った）垂直反射光路に測定ビームを反射する。垂直方向に向けられた測定ビームが、ステージ上方に取り付けられた反射器によって反射されて、ステージ上の反射システムに戻り、そこで、干渉計光学素子に戻る水平方向の復光路に方向転換される。こうして、測定ビームの全位相変化またはドップラ・シフトが、水平成分および垂直成分を有する光路に沿った距離または移動を示す。別個の干渉計チャンネルによって、光路の水平成分を測定することができるので、垂直成分または高度の測定値を抽出することが可能になる。これらの高度測定は、少なくとも、水平成分を測定して取り去る必要があるため、一般に、上述のダイナミック・レンジの制限を受けやすい。

【特許文献1】米国特許第6,020,964号明細書

【特許文献2】米国特許第6,650,419号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

既存の干渉計の制限に鑑みて、本発明の目的は、大型の光学素子を必要とすることなく、高度または垂直並進を測定するため、動的測定範囲を拡大することが可能なシステムおよび方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本教示による実施形態の1つによれば、干渉計によって、干渉計とある物体との離隔方向に対して垂直なその物体の変位を測定するための広いダイナミック・レンジが得られる。この干渉計は、参照反射器と、測定される物体上の測定反射器を利用する。測定反射器は、物体の上に取り付けられたポロ・プリズムに測定ビームを反射し、参照反射器は、参照ビームを直接干渉計に戻す。干渉計の第2のポロ・プリズムは、参照ビームを再帰させて、2回目の通過と参照反射器からの反射とを生じさせることが可能である。ポロ・プリズムは、ステージの回転時に生じるビームのウォーク・オフを減少させることが可能である。ポロ・プリズムによって改善されないステージの回転に関する他の効果は、測定ビームおよび参照ビームにとって同様のため、ウォーク・オフはわずかである。従って、大きいビーム直径を必要とすることなく、広いダイナミック・レンジを実現することが可能である。

【0009】

干渉計システムの典型的な実施形態の1つは、測定反射器および参照反射器が取り付けられたウェーハ・ステージのような物体を測定するためのものである。この干渉計システムには、測定ビームおよび参照ビームを、それぞれ、測定反射器および参照反射器に向けてX方向に仕向ける光学素子が含まれている。測定反射器は、測定ビームをZ方向に方向転換し、参照反射器は、参照ビームを干渉計光学素子に送り返す。ポロ・プリズムのような反射器が上置反射器として物体の上において、測定ビームを測定反射器に送り返すように配置されており、さらに、測定反射器によって方向転換された（送り返された）測定ビ

10

20

30

40

50

ームは、干渉計光学素子に戻される。次に、干渉計によって、参照ビームが方向転換されて、参照反射器への2回目の通過が実施され、参照反射器によって、干渉計に戻される。干渉計光学素子によって、測定ビームと参照ビームが結合され、検出器によって、結合ビームが電気信号に変換され、その電気信号から、Z方向における物体の相対変位の測定値が求められる。

【0010】

本教示によるもう1つの典型的な実施形態は、偏光ビーム分割器、測定反射器、第1のポロ・プリズム、参照反射器、および、検出器を含む干渉計システムである。偏光ビーム分割器によって、入射ビームが測定ビームと参照ビームに分割される。測定反射器は、偏光ビーム分割器から測定ビームを受光し、第1の光路から第2の光路に反射する。第1のポロ・プリズムは、測定ビームを受光し、第2の光路からオフセットした第3の光路に沿って、測定反射器に戻す。第2および第3の光路は、第1の光路に対してほぼ垂直である。参照反射器は、測定反射器に対して固定されており、偏光ビーム分割器から参照ビームを受光すると、それを反射して、偏光ビーム分割器に戻すように配置されている。偏光ビーム分割器によって、測定ビームと参照ビームが再結合され、検出器によって、結果得られる再結合ビームが電気信号に変換されて、この電気信号から変位の測定値が求められる。

10

【0011】

初回の通過中に、参照ビームが参照反射器から反射された後、偏向ビーム分割器から参照ビームを受光するように、第2のポロ・プリズムのような再帰反射器を配置することが可能である。参照ビームは、再帰反射器によって偏光ビーム分割器(PBS)に送られて、参照反射器から2回目の反射が生じ、その後、偏光ビーム分割器によって、測定ビームと参照ビームが再結合される。

20

【0012】

本教示によるもう1つの実施形態は、干渉計と測定される物体との離隔方向に対して垂直な変位を測定するための方法である。この方法は、測定ビームを送って、物体に取り付けられている第1の反射器から反射させることから開始されるが、この場合、測定ビームは、第1の反射器によって、干渉計と測定される物体との離隔方向に対して垂直な第1の方向に仕向けられる。測定ビームは、第1の方向に沿って第1の反射器から離隔されたポロ・プリズムのような第2の反射器によって反射され、第1の反射器に戻される。この方法には、さらに、参照ビームを送って、物体上に取り付けられた第3の反射器から2回反射させ、測定ビームと参照ビームを結合して、結合ビームを形成するステップが含まれている。結合ビームのビート周波数を測定することによって、他のビームの整合ドップラ・シフトで相殺されない、測定または参照ビームの残留ドップラ・シフトが指示される。残留ドップラ・シフトは、干渉計と物体との離隔方向に対して垂直な移動に依存する。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

異なる図における同じ参照記号の利用は、同様または同じものであることを表わしている。

【0014】

本教示の態様によれば、干渉計から水平方向に間隔をあけた物体の垂直方向変位を測定することが可能な干渉計は、測定される物体上の測定反射器および参照反射器、測定される物体の上方の上置反射器となりえるポロ・プリズム、および、干渉計光学素子内の再帰反射器となりえる第2のポロ・プリズムを用いることが可能である。干渉計の偏光ビーム分割器によって、入射ビームが、測定ビームと参照ビームに分割され、両方とも、物体に仕向けられる。

40

【0015】

測定ビームは、水平方向に測定反射器まで進み、垂直方向に第1のポロ・プリズムまで進んで、垂直方向に測定反射器まで戻り、さらに、水平方向に干渉計光学素子まで戻って、そこで参照ビームと再結合されて測定される。従って、測定ビームは、干渉計光学素子

50

からの単一通過中に、測定反射器から2回反射されて、戻される。

【0016】

参照ビームは、初回の通過中に、干渉計から参照反射器まで進み、直接干渉計光学素子に戻される。参照ビームは、次に、2回目の通過行中に、第2のポロ・プリズムから反射されて、干渉計から参照反射器まで進み、直接干渉計光学素子に戻される。参照ビームは、干渉計光学素子から物体までの2回目の通過を完了すると、干渉計光学素子から物体まで進んで戻される通過を1回だけしか行わない測定ビームと再結合させることが可能である。

【0017】

干渉計システムは、再結合時における測定ビームと参照ビームとの間のウォーク・オフをごく小さくする。測定ビームと参照ビームが、両方とも、物体上の反射器から2回反射され、その結果、物体のピッチ回転によって、測定ビームの角偏向と参照ビームの角偏向との整合がとれるので、ウォーク・オフが少なくなる。さらに、ポロ・プリズムによって、適合する平面内で再帰反射が生じ、物体のヨー回転とロール回転の効果の少なくとも一部が相殺されることになる。

10

【0018】

図1には、物体の垂直並進を測定することが可能な干渉計110を含むシステム100が例示されている。図解の実施形態の場合、システム100は、半導体ウェーハの処理に適したフォトリソグラフィ装置の一部であり、測定される物体は、フォトリソグラフィ・プロセス中、投影レンズ130に対して半導体ウェーハ125を位置決めするためのステージ120である。こうしたプロセスの場合、ステージ120および/または投影レンズ130用の位置決めシステム(不図示)は、投影レンズ130がウェーハ125の正しい領域に所望のパターンを投影できるように、投影レンズ130の光学軸に対してウェーハ125を正確に位置決めすることが可能でなければならない。さらに、ステージ120または投影レンズ130の集束システムは、焦点のぴったりと合ったパターンを形成するため、ウェーハ125と投影レンズ130との離隔距離を制御するか、または、それに適応することができなければならない。干渉計110によって、ステージ120の相対的高度またはZ変位が測定されるが、Z方向は、干渉計110とステージ120の離隔方向に対してほぼ垂直である。オペレータまたは制御システム(不図示)は、ステージ120および/または投影レンズ130用集束システムの制御時に、高度測定を利用することが可能である。当該技術者には明らかなように、ウェーハ処理装置100における投影レンズ130に対するステージ120の高度測定は、単なる干渉計110の説明に役立つ応用例の1つでしかなく、より一般的には、干渉計110は、さまざまなシステムにおいて、さまざまな物体の測定を行うことが可能である。

20

30

【0019】

高度測定のため、干渉計110によって、ステージ120上の平面反射器122および124のそれぞれに測定ビーム112および参照ビーム114がそれぞれ送られる。さらに、X方向に沿った物体変位の通常の測定のため、平面反射器124に第2の測定ビーム116を仕向けることが可能である。

【0020】

典型的な実施形態の1つにおける平面反射器122は、水平方向に対して45°に配向されて水平光路から垂直光路に測定ビーム112を反射する平面鏡である。測定ビーム112は、垂直光路によって、投影レンズ130に固定することが可能な取り付け構造134上の反射器132まで仕向けられる。典型的な実施形態の1つにおける反射器132は、X方向に沿ってある長さを有しており、その移動範囲においてステージ120がいかなる位置にあろうとも、測定ビーム112を反射して反射器122に戻すような配向および位置決めが施されている押出(成型)ポロ・プリズムである。次に、測定ビーム112は、反射器122によって干渉計110に戻される。参照ビーム114は、平面反射器124によって反射されて干渉計110に直接戻されるので、ステージ120へのおよびステージ120からの参照ビーム114の光路は、名目上水平になる。

40

50

【0021】

典型的な実施形態の場合、干渉計110は、測定ビーム112と参照ビーム114のそれぞれが、それぞれの反射器122および124から2回反射された後に再結合されて分析されるマイケルソン干渉計である。測定ビームは、干渉計110からポロ・プリズム132まで進んで、戻される単一通過中に、ステージ120から2回反射される。参照ビームは、干渉計110からステージ120への2回の個別通過中に、ステージ120から2回反射される。

【0022】

図2A、図2B、および、図2Cに示す干渉計110の実施形態の1つには、ビーム源210、偏光ビーム分割器(PBS)220、四分の一波長板(QWP)230、ポロ・プリズム240、検出システム250、および、反射鏡260が含まれている。ビーム源210は、PBS220が測定ビーム112および参照ビーム114を抽出する入射ビームINの発生源である。干渉計110の実施形態の1つでは、ビームINは、第1の周波数F1を有し、第1の直線偏光状態にある第1の成分と、第2の周波数F2を有し、第1の直線偏光に対して垂直な第2の直線偏光状態にある第2の成分を備えるヘテロダイン・ビームである。多くのビーム源は、所望の特性を備えたヘテロダイン・ビームを発生することが可能である。ビーム源210は、例えば、ゼーマン分裂および/または音響光学変調器(AOM)を通じて、周波数F1と周波数F2に所望の差を生じさせるレーザとすることが可能である。既知のまたは開発される可能性のある他のヘテロダイン・ビーム源も、適合する可能性がある。あるいはまた、ビーム源210は、必要なコヒーレンス長が測定ビーム112と参照ビーム114の光路長の差によって決まる、コヒーレンス長の長い単一周波数レーザとすることが可能である。単一周波数ビームを利用する干渉計は、一般に、ビーム・パワー変動の影響をなくすのに多相測定を必要とするので、ヘテロダイン・ビームの利用が望ましい可能性がある。

【0023】

PBS220によって入射ビームINの偏光成分が分離され、測定ビーム112と参照ビーム114は、直交した直線偏光になる。入射ビームINがヘテロダイン・ビームの場合、入射ビームINおよびPBS220の偏光軸の配向は、偏光分離によって入射ビームINの周波数成分が分離されるように施される。測定ビーム112および参照ビーム114は、従って、直交偏光した単一周波数ビームである。図2Aに例示の実施形態の場合、PBS220は、測定ビーム112の直線偏光がPBS220の薄膜によって反射され、参照ビーム114の直線偏光が最初はPBS220によって透過されるようになっている。当該技術者には明らかなように、干渉計110の代替実施形態では、測定ビームとして、PBS220において初回に透過されるビームを利用し、参照ビームとして、PBS220において初回に反射されるビームを利用することが可能である。さらに、図2Aには、PBS220が直角プリズム間に挟まれた薄い偏光薄膜を利用して実施される実施形態が例示されているが、PBS220は、PBS220が必要とするビーム分割および結合機能を果たす複屈折光学素子のような、異なる構造を利用して実施することが可能である。

【0024】

QWP230は、PBS220からステージ120に至る参照ビーム114の光路にある。PBS220に接着するか、あるいは、ビーム114の光路内の固定位置に別様に取り付けることが可能なQWP230によって、横断ビームの偏光が変化する。例えば、QWP230を横切る水平偏光ビームは、円偏光になり、垂直偏光した横断ビームは、円偏光されて直交円偏光になる。

【0025】

参照ビーム114が、PBS220からQWP230を通る初回の往光路R1Aをたどり、ステージ120上の平面反射器124から反射して、QWP230を通り、復光路R1Bに沿ってPBS220に戻る。光路R1AおよびR1Bは、反射器124が図2Aに示すようにX軸に対して垂直であれば、共線上にあるが、ステージ120が非ゼロのピッ

10

20

30

40

50

チ角またはヨー角をなす場合には、共線上にない。第1の通過中(すなわち、光路R1AおよびR1Bにおいて)QWP230を2回横切ると、参照ビーム114の偏光が、PBS220によって反射される直線偏光に変化する。PBS220は、従って、戻される参照ビーム114をポロ・プリズム240に向ける。

【0026】

ポロ・プリズム240は、ビームをYZ平面において再帰反射し、参照ビーム114を光路R1Bから反射して、入射光路R1AからY方向にオフセットした光路R2Aに仕向けるように配向が施されている。光路R1BとR2AとのY方向におけるオフセットによって、参照ビーム114が、オフセットしたポイントにおいて、PBS220から図2Aの紙面内に、または、図2Bの紙面上部に向かって反射される。図2Cには、初回の通過中における参照ビーム114の往光路R1Aに対する、2回目の通過中における参照ビーム114の往光路R2AのY方向オフセットが示されている。

10

【0027】

光路R2Aの参照ビーム114は、QWP230を通過して、反射器124から2回目の反射をする。次に、参照ビーム114は、復光路R2Bに沿って、QWP230を通り、PBS220まで戻る。QWP230を通る2回目の対をなす2つの通過によって、参照ビーム114の偏光が変化して、PBS220によって透過される直線偏光に戻る。第2の通過後、参照ビーム114は、PBS220を通過して、検出システム250による解析を受ける再結合ビームOUTの一部になる。

【0028】

測定ビーム112は、PBS220による初回の反射後、往光路M1Aを横切ってポロ・プリズム132に達する。往光路M1Aには、反射鏡260から、ステージ120上の平面反射器122に至る名目上の水平光路M1Axへの反射が含まれる。反射器122からの反射によって、測定ビーム112は、ポロ・プリズム132に至る名目上の垂直光路M1Azに向けられる。

20

【0029】

ポロ・プリズム132は、YZ平面内にあるビームを再帰反射するように配向が施されており、垂直光路M1Azに対して平行(または逆平行)で、そこからY方向にオフセットした名目上の垂直復光路M1Bzに測定ビーム112を向ける。(垂直光路M1Bzを含む測定ビーム112の光路のいくつかは、Y軸に沿って変位し、図2Aの側面図に示すビーム光路の後方にある。図2Bおよび図2Cには、それぞれ、図2Aには示されていないいくつかの光路が見える、平面図と正面図が示されている。)測定ビーム112の完全な復光路M1Bには、垂直復光路M1Bz、ステージ120上の反射器からの反射、反射鏡260への水平復光路M1Bx、および、測定ビーム112がPBS220に再入射する前の、反射鏡260からの反射が含まれる。

30

【0030】

ポロ・プリズム132および240の位置決めは、参照ビーム114がポロ・プリズム240によってオフセットさせられるのと同じ距離だけ、測定ビーム112がポロ・プリズム132によってY方向にオフセットさせられるように施される。従って、PBS220は、参照ビーム114の2回目の通過後に、戻り測定ビーム112と参照ビーム114を結合して、出射ビームOUTを形成することが可能になる。

40

【0031】

検出器250によって、ポロ・プリズム132に対するステージ120の垂直変位を求める分析のために、出射ビームOUTの測定が行われる。典型的な実施形態の1つでは、検出器250によって、残留ドップラ・シフトを求めるために出射ビームOUTの測定が行われ、これにより、残留ドップラ・シフトを利用して、ステージ120の垂直速度または変位を求めることが可能になる。測定ビーム112および参照ビーム114の当初の周波数がF1およびF2であるヘテロダイン干渉計の場合、戻される測定ビーム112および参照ビーム114の周波数F1'およびF2'は、ステージ120および/またはポロ・プリズム132の移動中に、ステージ120またはポロ・プリズム132からの反射の

50

結果として生じた可能性のあるドップラ・シフトによって決まる。検出システム 250 のフォトダイオードが、出射ビーム OUT を受光し、うなり周波数 $F_1' - F_2'$ を有する電子信号を発生する。同様に、入射ビーム IN の一部を直接測定することによって、うなり周波数 $F_1 - F_2$ を有する参照電子信号を生じさせることが可能である。

【0032】

検出システム 250 の典型的な実施形態の 1 つには、周波数が $F_1 - F_2$ の参照うなり信号に対する、周波数が $F_1' - F_2'$ のうなり信号の位相を測定する位相検出回路が含まれている。相対的位相の変化は、うなり周波数 $F_1' - F_2'$ および $F_1 - F_2$ が異なることを表わしており、測定ビーム 112 における残留ドップラ・シフトの測定を可能にする。干渉計 110 の場合、ステージ 120 が X 方向に移動すると、測定ビーム 112 におけるドップラ・シフトの 2 倍のドップラ・シフトが参照ビーム 114 に生じることになる。ステージ 120 またはポロ・プリズム 132 が Z 方向に移動すると、参照ビーム 114 の周波数にドップラ・シフトを生じさせることなく、測定ビーム 112 の周波数にドップラ・シフトを生じさせることになる。従って、うなり周波数 $F_1' - F_2'$ における残留ドップラ・シフトは、Z 軸に沿った移動によって生じるドップラ・シフトと X 軸に沿った移動によって生じるドップラ・シフトとの差である。周波数が $F_1' - F_2'$ および $F_1 - F_2$ の電子うなり信号間における位相差の測定値は、X および Z 方向に対して 45° の方向に沿った速度を表わし、求められた速度成分の積分は、同じ方向に沿った変位を表わしている。Z 方向に沿った変位は、X および Z 方向に対して 45° の方向に沿った変位に関するこの測定と、X 方向に沿った変位に関する従来式の別個の測定から求めることが可能である。

【0033】

干渉計 110 を用いて測定すると、ポロ・プリズム 132 および 240 による再帰反射によって、ステージ 120 の回転時における、参照ビーム 114 に対する測定ビーム 112 のウォーク・オフが最小限に抑えられるので、ダイナミック・レンジを広くすることが可能である。X 軸に関するステージ 120 のロール回転の場合、ポロ・プリズム 132 によって再帰反射されると、測定ビームが入射光路に対して平行な反射光路に沿って戻されることによって、結果生じる Z 方向からの垂直光路（例えば、光路 $M1A_z$ ）の変位が相殺される。同様に、ポロ・プリズム 240 において再帰反射されると、測定ビーム 112 に対する参照ビーム 114 の移動が抑えられる。ステージ 120 のピッチ回転の場合、測定ビーム 112 および参照ビーム 114 は、両方とも、ステージ 120 からの 2 度の反射の結果として、ZX 平面内で角偏向させられ、従って、測定ビーム 112 および参照ビーム 114 の光路長の差によって決まる偏向を被ることになる。こうして、ビーム 112 と 114 との間のウォーク・オフは、ウォーク・オフが全光路長によって決まるシステムに比べると、改善されることになる。ステージ 120 のヨー回転の場合、測定ビーム 112 と参照ビーム 114 の偏向は、やはり、同様であるので、ウォーク・オフはわずかである。

【0034】

図 3 には、垂直変位を測定するための代替実施形態によるシステム 300 が示されている。システム 300 は、2 つの反射表面 326 および 328 を備えた測定反射器 322 を含むステージ 320 を用いることで、図 2A のシステム 200 とは異なっている。反射表面 326 は、X 軸と 112.5° の角度をなし、反射表面 328 は、X 軸と 157.5° の角度をなす。結果として、測定反射器 322 は、中空ペンタ・プリズムの働きをし、ステージ 320 のピッチ角が、測定ビーム 112 の角偏向をもたらすことはない。システム 300 は、また、干渉計 310 が、PBS 220 における反射によって参照ビームをステージ 320 に戻す、コーナ・キューブまたはキャッツ・アイのような再帰反射器 340 を利用することができるという点において、図 2A のシステム 200 とは異なっている。結果として、Y 軸または Z 軸まわりにおけるステージの回転によって、ステージから 2 度反射した後の参照ビーム 114 に角偏向が生じることはない。従って、再結合ビーム OUT は、やはり、ほぼ共線上の 2 つの成分ビームから構成されることになる。そのほかの点で

は、システム 300 には、ほぼ、図 2 A、図 2 B、および、図 2 C に関して上述の通りに機能する素子が含まれている。

【0035】

本発明の解説は、特定の実施形態に関連して行われているが、本発明の応用例の 1 つでしかなく、制限とみなすべきではない。開示された実施形態の特徴のさまざまな改変および組み合わせは、付属の請求項によって定義される本発明の範囲内に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図 1】投影レンズに対する精密ステージの高度を測定することが可能な干渉計を含む、ウェーハ処理システムを示す図である。

10

【図 2 A】図 1 のシステムに適した干渉計におけるビーム光路の側面図である。

【図 2 B】図 1 のシステムに適した干渉計におけるビーム光路の平面図である。

【図 2 C】図 1 のシステムに適した干渉計におけるビーム光路の正面図である。

【図 3】測定反射器として中空ペンタ・プリズムを用いる実施形態の 1 つによる干渉計システムを例示した図である。

【符号の説明】

【0037】

110 光学系（干渉計）

120 物体（ステージ）

122 測定反射器

20

124 参照反射器

130 投影レンズ

132 上置反射器

210 ビーム源

220 偏光ビーム分割器（PBS）

230 四分の一波長板（QWP）

240 再帰反射器

250 検出器

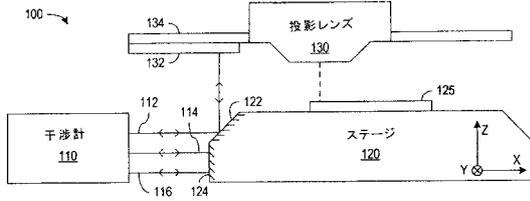
260 反射鏡

310 光学系（干渉計）

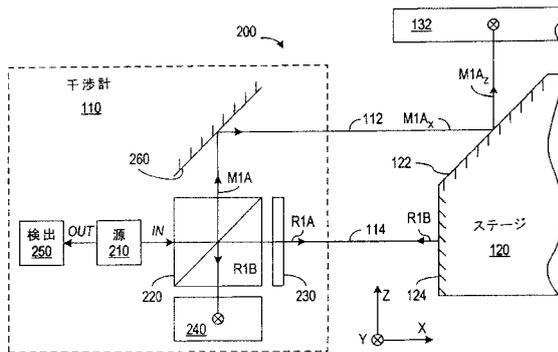
30

322 ペンタ・プリズム

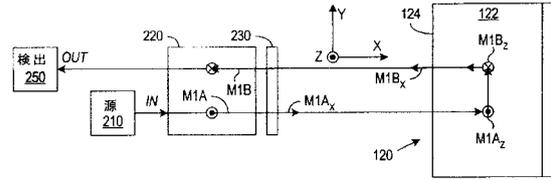
【 図 1 】



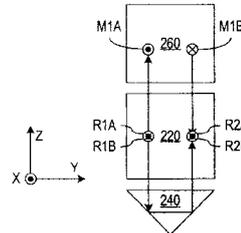
【 図 2 A 】



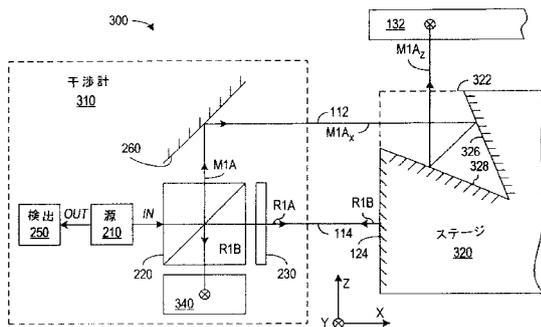
【 図 2 B 】



【 図 2 C 】



【 図 3 】



フロントページの続き

(74)代理人 100120260

弁理士 飯田 雅昭

(72)発明者 ウィリアム クレイ シュラクター

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 パロアルト ページ・ミル・ロード 395 アジレント・
テクノロジーズ・インク内

Fターム(参考) 2F064 AA01 BB01 CC10 EE01 FF01 FF06 GG12 GG13 GG15 GG16
GG23 GG38 GG70 JJ05
2F065 AA03 AA06 AA09 AA20 AA24 BB15 CC17 EE00 FF52 FF55
GG04 GG23 HH09 HH10 LL12 LL16 LL17 LL36 LL37 LL46
LL57 MM02 PP12 QQ13 UU07
5F046 CC01 CC16 DA14 DB05