

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-525548  
(P2005-525548A)

(43) 公表日 平成17年8月25日(2005.8.25)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 1 B 9/02

G 0 1 B 11/00

H 0 1 L 21/027

F 1

G 0 1 B 9/02

G 0 1 B 11/00

H 0 1 L 21/30

テーマコード(参考)

2 F 0 6 4

G 2 F 0 6 5

5 F 0 4 6

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2004-503890 (P2004-503890)  
 (86) (22) 出願日 平成15年5月13日 (2003.5.13)  
 (85) 翻訳文提出日 平成17年1月11日 (2005.1.11)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2003/014915  
 (87) 國際公開番号 WO2003/095940  
 (87) 國際公開日 平成15年11月20日 (2003.11.20)  
 (31) 優先権主張番号 60/378,004  
 (32) 優先日 平成14年5月13日 (2002.5.13)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

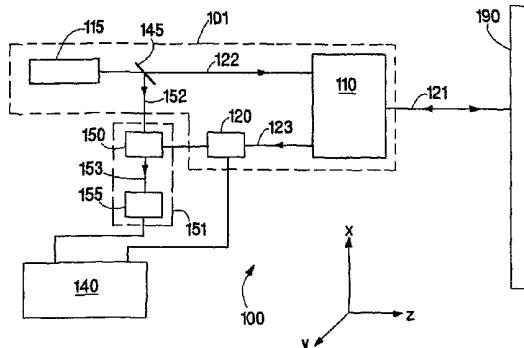
(71) 出願人 598176743  
 ザイゴ コーポレーション  
 Z Y G O C O R P O R A T I O N  
 アメリカ合衆国 コネチカット州 O 6 4  
 5 5 ミドルフィールド ローレル ブルック  
 ロード(番地なし)  
 (74) 代理人 100068755  
 弁理士 恩田 博宣  
 (74) 代理人 100105957  
 弁理士 恩田 誠  
 (72) 発明者 ヒル、ヘンリー エイ.  
 アメリカ合衆国 8 5 7 1 6 アリゾナ州  
 タクソン サウス アベニダ デ パル  
 マス 3 4 0

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】平面ミラー干渉計におけるビーム・ミスマライメントの幾何学的影響の補償

## (57) 【要約】

本発明は、標準ビーム経路(121)からのビーム経路の偏差を考慮するために干渉計の測定値を補償する方法を特徴とする。干渉計のビーム経路の標準経路からの偏差を判定することができ、干渉計システムの使用に先だって、および/または干渉計システムがオフラインの間に、干渉計(110)を較正する。この較正情報(140)は、干渉計システム(101)に供給され、ビーム経路偏差が考慮されるように測定値(120)を補正するシステムにより用いられる。



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

方法であって、

その少なくとも一方が干渉計システムの測定対象物に接触する2つのビーム経路間の光路差に関係する位相を含む出力ビームを干渉計システムの干渉計を用いて生成すること、

前記干渉計システムにおける欠陥に起因する少なくとも一方の前記ビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮に入れた事前較正情報を提供すること、

前記出力ビームから得られる情報および事前較正情報に基づいて、少なくとも1つの自由度について前記測定対象物の位置を判定すること、

を備える、方法。

**【請求項 2】**

請求項1記載の方法において、前記欠陥は、前記干渉計の少なくとも1つの光学部品における欠陥を含む、方法。

**【請求項 3】**

請求項2記載の方法において、前記干渉計の少なくとも1つの光学部品における前記欠陥は、前記光学部品の表面における欠陥を含む、方法。

**【請求項 4】**

請求項2記載の方法において、前記干渉計の少なくとも1つの光学部品における前記欠陥は、前記光学部品における全体的欠陥を含む、方法。

**【請求項 5】**

請求項1記載の方法において、前記欠陥は、前記測定対象物の光学部品における欠陥を含む、方法。

**【請求項 6】**

請求項1記載の方法において、前記欠陥は、光源から供給される入力ビームが前記干渉計に至る入力ビーム経路から偏差する原因となる前記光源における欠陥を含む、方法。

**【請求項 7】**

請求項1記載の方法において、前記事前較正情報は、前記干渉計に対する前記測定対象物の角度方向、前記測定対象物と前記干渉計との間の距離、および前記入力ビームの前記干渉計に対する方向の内の少なくとも1つに関してパラメータ化される、方法。

**【請求項 8】**

請求項7記載の方法において、前記事前較正情報は、前記干渉計に対する前記測定対象物の角度方向、前記測定対象物と前記干渉計との間の距離、および前記入力ビームの前記干渉計に対する方向の内の少なくとも2つに関してパラメータ化される、方法。

**【請求項 9】**

請求項8記載の方法において、前記事前較正情報は、前記干渉計に対する前記測定対象物の角度方向、前記測定対象物と前記干渉計との間の距離、および前記入力ビームの前記干渉計に対する方向に関してパラメータ化される、方法。

**【請求項 10】**

請求項7記載の方法において、前記予備較正情報を、電子格納媒体に、ある表現として格納する、方法。

**【請求項 11】**

請求項10記載の方法において、前記表現は、参照表を備える、方法。

**【請求項 12】**

請求項10記載の方法において、前記表現は、関数表現を備える、方法。

**【請求項 13】**

請求項1記載の方法において、前記測定対象物の少なくとも1つの自由度に対して判定した位置は、前記干渉計に対する前記測定対象物の変位に関係する、方法。

**【請求項 14】**

請求項13記載の方法において、前記測定対象物の少なくとも1つの自由度に対して判

10

20

30

40

50

定した位置は、前記測定対象物の前記干渉計に対する変位である、方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 記載の方法において、前記測定対象物の少なくとも 1 つの自由度に対して判定した位置は、前記測定対象物の角度方向に関する、方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 記載の方法において、前記測定対象物の少なくとも 1 つの自由度に対して判定した位置は、前記測定対象物の角度方向である、方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 記載の方法において、前記測定対象物の位置を判定することは、前記出力ビームの位相を測定すること、所定の情報から得られた 1 つ以上の値に基づいて、前記測定対象物の位置に前記位相を関係付けること、を含む、方法。 10

【請求項 1 8】

請求項 1 7 記載の方法において、前記所定の情報から得られた前記値は、前記位相に基づいて選択される、方法。

【請求項 1 9】

請求項 1 7 記載の方法において、前記所定の情報から得られた前記値は、前記測定対象物の角度方向に基づいて選択される、方法。

【請求項 2 0】

請求項 1 7 記載の方法において、前記所定の情報から得られた前記値は、前記標準経路に関連して、前記光源から前記干渉計まで得られた入力ビームの経路に基づいて選択される、方法。 20

【請求項 2 1】

請求項 2 0 記載の方法であって、前記入力ビーム経路の前記標準経路からの偏差を監視することを更に備える、方法。

【請求項 2 2】

請求項 1 7 記載の方法において、前記位相 、および前記光路差間の関係は、次の式  

$$= 2 p k L (1 - ( - )^2)$$

で表すことができ、ここで、p は整数、k は波数、L は干渉計と測定対象物との間の相対距離、 は測定対象物の干渉計に対する角度方向、 および は、少なくとも 1 つの前記ビーム経路の前記標準ビーム経路からの偏差に依存する項である、方法。 30

【請求項 2 3】

請求項 1 記載の方法において、前記干渉計を用いて前記出力ビームを生成することは、前記測定対象物を前記干渉計に対して移動させつつ前記出力ビームを生成することを含み、前記測定対象物の位置を判定することは、相対的移動中前記測定対象物の位置を監視することを含む、方法。

【請求項 2 4】

請求項 1 記載の方法において、前記干渉計を用いて前記出力ビームを生成することは、入力ビームを少なくとも 2 つのビームに分離すること、該 2 つのビームを 2 本のビーム経路に沿って方向付けること、前記ビームの少なくとも一方が前記測定対象物に接触した後に、前記 2 つのビームを再結合すること、を含む、方法。 40

【請求項 2 5】

請求項 2 4 記載の方法において、双方のビーム経路が前記測定対象物に接触する、方法。

【請求項 2 6】

請求項 2 5 記載の方法において、前記光路差は、前記測定対象物の前記干渉計に対する角度方向に関する、方法。

【請求項 2 7】

方法であって、  
 その少なくとも一方が干渉計システムにおける測定対象物に接触する 2 つのビーム経路間の光路差に関する位相を含む出力ビームを干渉計を用いて生成すること、 50

前記干渉計の光源、前記干渉計、または前記測定対象物の少なくとも1つにおける欠陥に起因する少なくとも一方の前記ビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮に入れた事前較正情報を提供すること、

前記事前較正情報および前記出力ビームから得られる情報に基づいて、前記干渉計に対する前記測定対象物の変位を判定すること、  
を備える、方法。

【請求項28】

方法であって、

干渉計システムにおける欠陥に起因する少なくとも1つのビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮した事前較正情報に基づいて、前記干渉計システムによって行われた干渉測定を補正することを備える、方法。 10

【請求項29】

方法であって、

干渉計システムにおける欠陥に起因する少なくとも1つのビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮した情報を決定することによって前記干渉計システムを較正することを備える、方法。 20

【請求項30】

請求項29記載の方法において、前記較正することは、前記光路差を変化させながら、前記干渉計システムにおける1つ以上の中間ビームの方向変化を監視することを含む、方法。 20

【請求項31】

請求項30記載の方法において、前記光路差を変化させることは、前記干渉計システムにおいて測定対象物を干渉計に対して変位させることを含む、方法。

【請求項32】

請求項30記載の方法において、前記光路差を変化させることは、前記干渉計システムにおいて測定対象物の干渉計に対する角度方向を変化させることを含む、方法。

【請求項33】

装置であって、

その少なくとも1本が測定対象物に接触する2本のビーム経路間の光路差に関する位相を含む出力ビームを生成するように構成されている干渉計と、 30

前記干渉計に接続されている電子コントローラであって、動作の間、出力ビームから得られた情報と、前記干渉計の光源、前記干渉計、または前記測定対象物の少なくとも1つにおける欠陥に起因する少なくとも1つの前記ビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮した事前較正情報とに基づいて、少なくとも1つの自由度について前記測定対象物の位置を判定する電子コントローラと、  
を備える、装置。

【請求項34】

装置であって、

干渉計の光源、前記干渉計、または測定対象物の少なくとも1つにおける欠陥に起因する少なくとも1つの前記ビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮した事前較正情報を格納する電子格納媒体を備える、装置。 40

【請求項35】

ウェハ上に集積回路を製造する際に用いるリソグラフィ・システムであって、  
前記ウェハを支持するステージと、

前記ウェハ上に、空間的にパターン化した放射光を結像する照明システムと、  
前記ステージの結像放射光に対する位置を調節する位置決めシステムと、

前記結像放射光に対する前記ウェハの位置を監視する請求項33記載の装置と、  
を備える、システム。

【請求項36】

ウェハ上に集積回路を製造する際に用いるリソグラフィ・システムであって、

10

20

30

40

50

前記ウェハを支持するステージと、  
放射光源と、マスクと、位置決めシステムと、レンズ・アセンブリと、請求項33記載の装置とを含む照明システムと、  
を備え、

動作の間、前記光源は、前記マスクを通過するように光を射出して空間的にパターン化された放射光を生成し、前記位置決めシステムは、前記光源からの放射光に対する前記マスクの位置を調節し、前記レンズ・アセンブリは、前記ウェハ上に、前記空間的にパターン化された放射光を結像し、前記装置は、前記光源からの放射光に対する前記マスクの位置を監視する、リソグラフィ・システム。

【請求項37】

リソグラフィ・マスクを製造する際に用いるビーム書き込みシステムであって、  
基板をパターニングする書き込みビームを供給する光源と、  
前記基板を支持するステージと、  
前記書き込みビームを前記基板へ導くビーム誘導アセンブリと、  
前記ステージおよびビーム誘導アセンブリを互いにに対して位置決めする位置決めシステムと、  
前記ビーム誘導アセンブリに対する前記ステージの位置を監視する請求項33記載の装置と、  
を備える、システム。

【請求項38】

ウェハ上に集積回路を製造する際に用いるリソグラフィ方法であって、  
可動ステージ上に前記ウェハを支持すること、  
空間的にパターン化した放射光を前記ウェハ上に結像すること、  
前記ステージの位置を調節すること、  
請求項28記載の方法を用いて、前記ステージの位置を監視すること、  
を備える、方法。

【請求項39】

集積回路の製造に用いるリソグラフィ方法であって、  
マスクを通過するように入力放射光を方向付けて、空間的にパターン化した放射光を生成すること、  
前記入力放射光に対してマスクを位置決めすること、  
請求項28記載の方法を用いて、前記入力放射光に対する前記マスクの位置を監視すること、  
前記空間的にパターン化した放射光をウェハ上に結像すること、  
を備える、方法。

【請求項40】

ウェハ上に集積回路を製造するリソグラフィ方法であって、  
リソグラフィ・システムの第1構成要素を、リソグラフィ・システムの第2構成要素に  
対して位置決めして、空間的にパターン化した放射光で前記ウェハを露光すること、  
請求項28記載の方法を用いて、前記第1構成要素の前記第2構成要素に対する位置を  
監視すること、  
を備える、方法。

【請求項41】

集積回路の製造方法であって、請求項38記載のリソグラフィ方法を備える、方法。

【請求項42】

集積回路の製造方法であって、請求項39記載のリソグラフィ方法を備える、方法。

【請求項43】

集積回路の製造方法であって、請求項40記載のリソグラフィ方法を備える、方法。

【請求項44】

集積回路の製造方法であって、請求項35記載のリソグラフィ・システムを用いること

10

20

30

40

50

を備える、方法。

【請求項 4 5】

集積回路の製造方法であって、請求項 3 6 記載のリソグラフィ・システムを用いることを備える、方法。

【請求項 4 6】

リソグラフィ・マスクの製造方法であって、書き込みビームを基板へと方向付けて、前記基板にパターニングを行うこと、前記書き込みビームに対して前記基板を位置決めすること、請求項 2 8 記載の干渉方法を用いて、前記書き込みビームに対する前記基板の位置を監視すること、  
10 を備える、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、リソグラフィ・スキャナまたはステッパ・システムにおけるマスク・ステージ又はウェハ・ステージ等の測定対象物の直線的変位または角度変位を測定する干渉計、例えば、直線的変位および角度変位測定ならびに散乱干渉計や、波長を監視し気体の固有特性を判定する干渉計に関する。

【0 0 0 2】

(関連出願に対する相互参照)

本願は、2002年5月13日に出願され、「平面ミラー干渉計におけるビーム・ミスマライメントの幾何学的影响の補償」(COMPENSATION FOR GEOMETRIC EFFECTS OF BEAM MISALIGNMENTS IN PLANE MIRROR INTERFEROMETERS)と題するヘンリー・エ・ヒル(Henry A. Hill)の仮特許出願第60/378,004号の優先権を主張する。その内容をこの参照により本願に引用する。  
20

【背景技術】

【0 0 0 3】

変位測定干渉計は、光学干渉信号に基づいて、基準物に対する測定対象物の位置変化を監視する。干渉計は、測定対象物から反射した測定ビームを反射物体から反射した基準ビームと重ね合わせ、干渉させることによって、光学干渉信号を生成する。  
30

【0 0 0 4】

多くの用途では、測定および基準ビームは、直交する偏光および異なる周波数を有する。異なる周波数は、例えば、レーザ・ゼーマン分割(laser Zeeman splitting)によって、光音響変調によって、または複屈折素子等を用いてレーザ内部で生成することができる。直交する偏光によって、偏光ビーム・スプリッタは、測定ビームおよび基準ビームをそれぞれ測定対象物および基準物に方向付けることができ、反射した測定ビームおよび基準ビームを組み合わせて、重なり合った射出測定ビームおよび基準ビームを形成することができる。重なり合った射出ビームは、出力ビームを形成し、実質的に偏光板を通過する。偏光板は、射出する測定ビームおよび基準ビームの偏光を混合し、混合ビームを形成する。混合ビームにおける射出測定ビームおよび基準ビームの成分は互いに干渉するので、混合ビームの強度は、射出測定ビームおよび基準ビームの相対位相と共に変化する。  
40

【0 0 0 5】

検出器は、混合ビームの時間依存強度を測定し、その強度に比例する電気干渉信号を生成する。測定ビームおよび基準ビームは異なる周波数を有するので、電気干渉信号は、射出する測定ビームおよび基準ビームの周波数間の差に等しいビート周波数を有する「ヘテロダイン」信号を含む。例えば、測定対象物を含むステージを並進させることによって、測定経路および基準経路の長さが互いに対し変化すると、測定されるビート周波数は、  
2 n p / に等しいドブラー・シフトを含む。ここで、n は測定対象物および基準物の相対速度、p は測定ビームおよび基準ビームの波長、n は光ビームが通過する媒体、例え  
50

ば、空気または真空の屈折率、 $p$  は基準物および測定対象物への経路数である。測定した干渉信号の位相変化は、測定対象物の相対位置の変化に対応し、例えば、2 の位相変化は、実質的に  $/2 (n p)$  の距離変化  $L$  に対応する。距離  $2L$  は、往復距離変化、即ち、測定対象物を含むステージまでの往復距離の変化である。言い換えると、位相  $\Phi$  は、理想的には  $L$  に直接比例し、平面ミラー干渉計、例えば、高安定性平面ミラー干渉計については、以下の式で表される。

【0006】

【数1】

$$\Phi = 2pkL \cos^2 \theta$$

(1)

10

ここで、 $k = 2 \pi / \lambda$  であり、 $\lambda$  は干渉計の基準軸に対する測定対象物の方向である。この軸は、 $\theta$  が最大となる測定対象物の方向から決定することができる。 $\theta$  が小さい場合、式(1)は、次のように近似することができる。

【0007】

【数2】

$$\Phi = 2pkL(1 - \theta^2)$$

(2)

生憎、観察可能な干渉位相

20

【0008】

【数3】

$$\tilde{\Phi}$$

は、常に完全に位相  $\Phi$  に等しい訳ではない。多くの干渉計は、例えば、「周期誤差」として知られているような非線形性を含む。周期誤差は、測定した干渉信号の観察可能な位相および / または強度に対する影響として表すことができ、例えば、光路長  $2pnL$  の変化に対して正弦波状依存性を有する可能性がある。具体的には、位相の一次周期誤差は、例えば、 $(4pnL)/\lambda$  に対して正弦波状依存性を有し、位相の二次周期誤差は、例えば、 $2(4pnL)/\lambda$  に対して正弦波状依存性を有する。更に高次の周期誤差も存在する可能性があり、更に、副高調波周期誤差、並びに、検出器および信号処理電子回路を備えた干渉計システムのその他の位相パラメータの正弦波状依存性を有する周期誤差も存在し得る。

30

【0009】

周期誤差に加えて、非周期的非線形性即ち非周期誤差も存在する。非周期誤差の発生源の一例は、干渉計の測定経路における光ビームの回折である。回折による非周期誤差は、例えば、ジェー・ピー・モンチャリン (J. P. Monchalin)、エム・ジェー・ケリー (M. J. Kelly)、ジェー・イー・トーマス (J. E. Thomas)、エヌ・エー・カーニス (N. A. Kurniss)、エー・ズーケ (A. Szoke)、エフ・ザーナイク (F. Zernike)、ピー・エッチ・リー (P. H. Lee)、およびエー・ジャバン (A. Javan) の精密二ビーム操作マイケルソン干渉計による高精度レーザ波長測定 (Accurate Laser Wavelength Measurement With A Precision Two-Beam Scanning Michelson Interferometer) (Applied Optics, 20(5), 736-757, 1981) の研究において見いだせるように、システムの挙動の分析によって決定されている。

40

【0010】

非周期誤差の第 2 の発生源は、干渉計の素子を横切る光ビームの「ビームずれ (beam shearing)」の効果、および互いに対する基準および測定ビームの横方向ず

50

れである。ビームずれは、例えば、差動平面ミラー干渉計 (P D M I : differential plane mirror interferometer) または高安定性平面ミラー干渉計 (H S P M I : high stability plane mirror interferometer) 等の二重経路平面ミラー干渉計における干渉計への入力ビームの伝搬方向の変化、または対象ミラーの方向変化によって発生する可能性がある。

【 0 0 1 1 】

したがって、前述の周期誤差および非周期誤差等の誤差によって、観察可能な干渉位相は、通例、以外の影響を含む。つまり、観察可能位相は、より正確には、次のように表される。

【 0 0 1 2 】

【 数 4 】

$$\tilde{\Phi} = \Phi + \psi + \zeta \quad (3)$$

ここで、およびは、それぞれ、周期誤差および非周期誤差による影響である。周期誤差および非周期誤差による観察可能位相に対する影響の効果は、各干渉計においてこれらの誤差を定量化し、以降の測定値をこのデータで補正することによって減少させることができる。本願と所有者が同一の米国特許第6,252,668号、米国特許第6,246,481号、米国特許第6,137,574号、およびヘンリー・エー・ヒルによって2002年11月5日に出願され、「干渉周期誤差の補償」(INTERFEROMETRY CYCLIC ERROR COMPENSATION)と題する米国特許出願第10/287,898号に、周期誤差を定量化する様々な技法が記載されている。これら各自の内容全体を、参照により本願に引用する。これらの影響を補償するために、周期誤差補償システムおよび方法を用いて、観察された位相に対する循環誤差の影響を特徴化する周期誤差関数を決定することができる。干渉計および干渉計部品において非周期誤差を特徴化するために用いることができる装置の例および方法の詳細は、2003年2月12日に出願され、「干渉計システムにおける非周期誤差の特徴化および補償」(CHARACTERIZATION AND COMPENSATION OF NON-CYCLIC ERROR IN INTERFEROMETRY SYSTEM)と題するヘンリー・エー・ヒル(Henry A. Hill)の米国特許出願第10/366,587号に記載されている。その内容全体を参照により本明細書に引用する。

【 0 0 1 3 】

周期誤差および/または非周期誤差によるあらゆる影響が、小さいかまたは補償されていると仮定すると、式(2)から、変位測定干渉計によって測定した観察可能な位相は、 $2pkL(1 - \frac{1}{2})$ に等しくなるはずである。測定対象物の方向が既知であるならば、この関係は、測定ビームおよび基準ビーム間の光路差が $2pkL(1 - \frac{1}{2})$ に等しいことを仮定し、測定した位相から、測定対象物の干渉計からの変位Lを容易に判定できる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 4 】

ある態様では、本発明は、1つ以上の干渉計ビームの標準ビーム経路(nominal beam path)からの偏差によって、光路差が、式(2)について想定した光路差から変動し得るという認識に基づいている。かかる偏差から生じる誤差を、幾何学的非周期誤差と呼ぶ。かかる誤差が生じた場合、式(2)における関係を用いて、測定した位相からLを決定すると、誤った結果が出る可能性があり、高レベルの精度を要求する用途では不利益となり得る。更に、かかるビーム経路偏差の影響は、Lが比較的大きい(例えば、0.5m以上)場合に強調される。この理由は、ビーム経路偏差の光路差に対する影響は、通例、Lと共に増減するからである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 5 】

したがって、ある態様では、本発明は、ビーム経路の標準ビーム経路からの偏差を考慮に入れて干渉計の測定値を補償する方法と特徴とする。干渉計ビーム経路の標準経路からの偏差は、その使用前に干渉計を較正している間、および／または干渉計システムをオフラインにしている間に判定することができる。この事前に較正した情報を干渉計システムに供給し、ビーム経路の偏差を考慮するように測定値を補正するために、干渉計システムはこの情報を用いる。

#### 【0016】

ビーム経路偏差の発生源は、干渉計を構成する光学部品の1つ以上における欠陥、測定対象物における欠陥、および干渉計入力ビームの経路が変動する原因となり得る干渉計光源の不安定性を含む。ビーム経路の偏差は、完全にアライメントのとれた、欠陥のないシステムに対応する標準経路に対して特徴化することができる。測定ビームおよび出力ビームの測定ビーム成分の標準経路は、測定対象物の角度方向に依存する。言い換えると、標準経路は、光路差が全く同様に  $2 p L (1 - \frac{1}{L})^2$  に対応する経路であり、Lおよび  $\frac{1}{L}$  は、固定の基準座標系に対して測定する。

10

#### 【0017】

事前に較正した情報は、電子データ格納媒体（例えば、メモリ・チップまたはディスク）にある表現（例えば、参照表または機能的表現）として格納することができ、干渉計の最終ユーザに供給される。その最終使用用途において干渉計を作動させる制御アルゴリズムは、データ格納媒体からの情報にアクセスし、それに応じて干渉計の測定値を補償する。

20

#### 【0018】

補償は、オンラインかつリアル・タイムで、またはオフラインで行うことができる。波頭誤差やビームずれによる非周期誤差のような、他の誤差の影響を分離する方法のアプリケーションも使用することができる。

#### 【0019】

ここに開示する技法を用いる干渉計は、リソグラフィ・ツールおよびビーム書き込みシステムにおいて用いることができる。

本発明の種々の態様および特徴について、以下にまとめる。

#### 【0020】

概して、第1の態様において、本発明は、その少なくとも一方が干渉計システムにおける測定対象物に接触する2つのビーム経路間の光路差に関係する位相を含む出力ビームを干渉計システムにおける干渉計を用いて生成すること、干渉計システムにおける欠陥に起因する少なくとも一方のビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮に入れた事前較正情報を提供すること、出力ビームから得られる情報および事前較正情報に基づいて、少なくとも1つの自由度について測定対象物の位置を判定すること、を含む方法を特徴とする。

30

#### 【0021】

本方法の実施態様は、以下の特徴および／または他の態様の特徴の内1つ以上を含むことができる。

欠陥は、干渉計の少なくとも1つの光学部品における欠陥（例えば、光学部品の表面における欠陥または光学部品における全体的欠陥）を含むことができる。あるいは、または加えて、欠陥は、測定対象物の光学部品における欠陥を含むことができる。実施形態の中には、欠陥は、光源から導出した入力ビームが干渉計に至る入力ビーム経路から偏差する原因となる、光源における欠陥を含む可能性があるものもある。

40

#### 【0022】

事前較正情報は、干渉計に対する測定対象物の角度方向、測定対象物と干渉計との間の距離、および入力ビームの干渉計に対する方向の内の少なくとも1つに関して（例えば、少なくとも2つに関してまたは2つ全てに関して）パラメータ化される。予備較正情報は、電子格納媒体にある表現（例えば、参照表または関数表現）として格納することができる。

50

## 【 0 0 2 3 】

測定対象物の少なくとも 1 つの自由度に対して判定した位置は、干渉計に対する測定対象物の変位（例えば、測定対象物の干渉計に対する変位とすることができる）に関係付けることができる、および / または測定対象物の干渉計に対する変位（例えば、測定対象物の角度方向とすることができる）に関係付けることができる。

## 【 0 0 2 4 】

測定対象物の位置を判定することは、出力ビームの位相を測定すること、所定の情報から得られた 1 つ以上の値に基づいて、測定対象物の位置に位相を関係付けること、を含むことができる。所定の情報から得られた値は、位相、測定対象物の角度方向、および / または標準経路に対する、光源から干渉計まで得られた入力ビームの経路に基づいて選択することができる。ある実施形態の中では、本方法は、入力ビーム経路の標準経路からの偏差を監視することを含むことができる。

## 【 0 0 2 5 】

位相、および光路差間の関係は、次の式

$$= 2 p k L \quad (1 - ( - )^2)$$

で表すことができ、ここで、 $p$  は整数、 $k$  は波数、 $L$  は干渉計と測定対象物との間の相対的距離、 $-$  は測定対象物の干渉計に対する角度方向、 $+$  および  $\pm$  は、少なくとも 1 つのビーム経路の標準ビーム経路からの偏差に依存する項である。

## 【 0 0 2 6 】

干渉計を用いて出力ビームを生成することは、測定対象物を干渉計に対して移動させつつ出力ビームを生成することを含むことができ、測定対象物の位置を判定することは、相対的移動の間測定対象物の位置を監視することを含むことができる。干渉計を用いて出力ビームを生成することは、入力ビームを少なくとも 2 つのビームに分離すること、これら 2 つのビームを 2 本のビーム経路に沿って方向付けること、ビームの少なくとも一方が測定対象物に接触した後に、2 つのビームを再結合すること、を含むことができる。双方のビーム経路が測定対象物に接触する実施形態では、光路差を、測定対象物の干渉計に対する角度方向に関係付けることができる。

## 【 0 0 2 7 】

概して、他の態様では、本発明は、その少なくとも一方が干渉計システムにおける測定対象物に接触する 2 つのビーム経路間の光路差に関係する位相を含む出力ビームを干渉計を用いて生成すること、干渉計の光源、干渉計、または測定対象物の少なくとも 1 つにおける欠陥に起因する少なくとも一方のビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮に入れた事前較正情報を提供すること、事前較正情報および出力ビームから得られる情報に基づいて、干渉計に対する測定対象物の変位を判定すること、を含む方法を特徴とする。

## 【 0 0 2 8 】

この方法の実施形態は、他の態様の特徴の 1 つ以上を含むことができる。

概して、更に別の態様では、本発明は、干渉計システムにおける欠陥に起因する少なくとも 1 つのビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮した事前較正情報に基づいて、干渉計システムによって行われた干渉測定を補正することを含む方法を特徴とする。

## 【 0 0 2 9 】

この方法の実施形態は、他の態様の特徴の 1 つ以上を含むことができる。

概して、別の態様では、本発明は、干渉計システムにおける欠陥に起因する少なくとも 1 つのビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮した情報を決定することによって、干渉計システムを較正することを含む方法を特徴とする。

## 【 0 0 3 0 】

この方法の実施形態は、他の態様の特徴の 1 つ以上を含むことができる。

較正することは、光路差を変化させながら、干渉計システムにおける 1 つ以上の中間ビ

10

20

30

40

50

ームの方向変化を監視することを含むことができる。光路差を変化させることは、干渉計システムにおいて測定対象物を干渉計に対して変位させること、および／または干渉計システムにおいて測定対象物の干渉計に対する角度方向を変化させることを含むことができる。

【0031】

概して、別の態様では、本発明は、その少なくとも1本が測定対象物に接触する2本のビーム経路間の光路差に関係する位相を含む出力ビームを生成するように構成されている干渉計と、干渉計に接続されている電子コントローラであって、動作の間、出力ビームから得られた情報と、干渉計の光源、干渉計、または測定対象物の少なくとも1つにおける欠陥に起因する少なくとも1つのビーム経路の標準ビーム経路からの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮した事前較正情報とに基づいて、少なくとも1つの自由度について測定対象物の位置を判定する電子コントローラとを含む装置を特徴とする。

【0032】

本装置の実施形態は、他の態様の特徴の1つ以上を含むことができ、および／またはここに開示する方法を実施するように構成することができる。

概して、更に別の態様では、本発明は、干渉計の光源、干渉計、または測定対象物の内の少なくとも1つにおける欠陥に起因する少なくとも1つのビーム経路の標準ビームからの偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮した事前較正情報を格納する電子格納媒体を含む装置を特徴とする。

【0033】

本装置の実施形態は、他の態様の特徴の1つ以上を含むことができ、および／またはここに開示する方法を実施するように構成することができる。

別の態様では、本発明は、ウェハ上に集積回路を製造する際に用いるリソグラフィ・システムを特徴とし、このシステムは、ウェハを指示するステージと、ウェハ上に、空間的にパターン化した放射光を結像する照明システムと、ステージの結像放射光に対する位置を調節する位置決めシステムと、結像放射光に対するウェハの位置を監視する前述の装置とを含む。

【0034】

別の態様では、本発明は、ウェハ上に集積回路を製造する際に用いるリソグラフィ・システムを特徴とし、このシステムは、ウェハを支持するステージと、放射光源と、マスクと、位置決めシステムと、レンズ・アセンブリと、前述の装置とを含む照明システムとを含み、動作の間、光源は、マスクを通過するように光を射出して空間的にパターン化された放射光を生成し、位置決めシステムは、光源からの放射光に対するマスクの位置を調節し、レンズ・アセンブリは、ウェハ上に、空間的にパターン化された放射光を結像し、前述の装置は、光源からの放射光に対するマスクの位置を監視する。

【0035】

更に別の態様では、本発明は、リソグラフィ・マスクを製造する際に用いるビーム書き込みシステムを特徴とし、本システムは、基板をパターニングする書き込みビームを供給する光源と、基板を支持するステージと、書き込みビームを基板へ導くビーム誘導アセンブリと、ステージおよびビーム誘導アセンブリを互いに對して位置決めする位置決めシステムと、ビーム誘導アセンブリに対するステージの位置を監視する前述の装置とを含む。

【0036】

別の態様では、本発明は、ウェハ上に集積回路を製造する際に用いるリソグラフィ方法を特徴とし、この方法は、可動ステージ上にウェハを支持すること、空間的にパターン化した放射光をウェハ上に結像すること、ステージの位置を調節すること、前述の方法を用いてステージの位置を監視すること、を含む。

【0037】

更に別の態様では、本発明は、集積回路の製造に用いるリソグラフィ方法であって、マスクを通過するように入力放射光を方向付けて、空間的にパターン化した放射光を生成すること、入力放射光に対してマスクを位置決めすること、前述の方法を用いて、入力放射

10

20

30

40

50

光に対するマスクの位置を監視すること、空間的にパターン化した放射光をウェハ上に結像すること、を含むリソグラフィ方法を特徴とする。

#### 【0038】

更に別の態様では、本発明は、ウェハ上に集積回路を製造するリソグラフィ方法であって、リソグラフィ・システムの第1構成要素を、リソグラフィ・システムの第2構成要素に対して位置決めして、空間的にパターン化した放射光でウェハを露光すること、前述の方法を用いて、第1構成要素の第2構成要素に対する位置を監視すること、を含むリソグラフィ方法を特徴とする。

#### 【0039】

更に別の態様では、本発明は、集積回路の製造方法を特徴とし、この方法は前述のリソグラフィ方法を含む。 10

別の態様では、本発明は、集積回路の製造方法を特徴とし、この方法は、前述のリソグラフィ方法を含む。

#### 【0040】

更に別の態様では、本発明は、リソグラフィ・マスクの製造方法を特徴とし、この方法は、書き込みビームを基板へと方向付けて、基板にパターニングを行うこと、書き込みビームに対して基板を位置決めすること、前述の干渉方法を用いて、書き込みビームに対する基板の位置を監視すること、を含む。

#### 【0041】

本発明の実施形態は、以下の利点の1つ以上を含むことができる。 20

ここに開示する技法を用いて干渉計および/または干渉計の構成部品におけるビーム経路偏差を特徴化することは、最終使用用途における干渉計の精度向上のために用いることができる。精度向上は、干渉位相から測定対象物の自由度（例えば、変位または角度方向）を決定する際にビーム経路偏差の光路差に対する影響を補償することから得られる。これによって、ビーム経路偏差の原因となる欠陥にために、本発明を用いなければ干渉計および/または構成部品の精度が低くなり過ぎる高精密用途において干渉計および干渉計の構成部品の使用が可能となる。したがって、これらの干渉計および/または構成部品を、所望の精度レベルを得るには一層高い品質の構成部品が必要であったはずの用途にも用いることができる。品質が低い構成部品程、高品質の対応物よりも安価であるのが通例であるので、本技法によってコスト節約をもたらすことができる。 30

#### 【0042】

特に定義しない限り、ここで用いる全ての技術的および科学的用語は、本発明が属する技術分野の当業者が一般に理解するのと同じ意味を有するものとする。この中で引用することによって本願にも含まれるものとする刊行物、特許出願、特許、およびその他の参考文献との対立の場合、定義を含む本明細書が規制する(control)こととする。

#### 【0043】

本発明のその他の特徴、目的、および利点は、以下の詳細な説明から明白となろう。

種々の図面における同様の符号は、同様の要素を示すものとする。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0044】

図1を参照すると、干渉計システム100は、干渉計サブシステム101および151を含み、これらは、それぞれ、平面ミラー測定対象物190の変位およびビーム伝搬方向を監視するように構成されている。サブシステム101は、光源115から入力ビームを受けるように配置された干渉計110を含む。干渉計110は、入力ビーム122を測定ビーム121および基準ビーム（図示せず）に分割し、測定ビーム121および基準ビームを異なる経路に沿って方向付け、これらを再度結合して出力ビーム123を形成する。干渉計110は、測定対象物190から反射するように、測定ビーム121を方向付ける。測定ビーム121は、測定対象物190と干渉計110との間に単一のパスを形成するように図示されているが、多くの実施形態では、測定対象物まで多数のパスを形成する。出力ビーム123は、検出器120に入射し、検出器120は、出力ビーム123の偏光 40

成分における強度のばらつきを検出する。検出器 120 は、時間変動強度ばらつきを、電子コントローラ 140 に干渉信号として伝達し、電子コントローラ 140 はこの干渉信号から干渉位相を抽出する。干渉位相は、測定ビーム 121 と基準ビームとの間の光路差に関係する。続いて、電子プロセッサ 140 は、位相、光路差、および相対的変位間の既知の関係に基づいて、測定対象物 190 の干渉計 110 に対する変位を判定する。

#### 【0045】

サブシステム 151 は、角度干渉計 150 および検出器 155 を含む。ビーム・スプリッタ 145 は、光源 115 からのビームの一部 152 を角度干渉計 150 に向けて方向付け、角度干渉計 150 は、入力ビーム 122 の方向に関連する干渉位相を有する出力ビーム 153 を生成する。検出器 155 は、出力ビーム 153 の偏光成分の強度を監視し、出力ビーム強度に関する干渉信号を電子コントローラ 140 に伝達する。次いで、電子コントローラ 140 は、干渉信号から干渉位相を抽出し、入力ビーム 122 の伝搬方向の、干渉位相のばらつきからの偏差を判定する。

#### 【0046】

図 1 ないし図 3 において、図 1 に示すデカルト座標系を参照する。

好ましくは、入力ビーム 122、測定ビーム 121、および出力ビーム 123 の成分の経路が、標準ビーム経路と一致する。標準経路は、入力ビームが干渉計 110 の好ましい測定軸に対して一定の方向を有し、干渉計 110 を構成する光学部品および平面ミラー測定対象物 190 が完全であるときのビームの経路に対応する。測定ビーム（および出力ビームの測定ビーム成分）の標準経路は、z 軸に平行な干渉計測定軸に関して、ミラー 190 の方向に応じて決定される。したがって、測定ビームに対して 1 本の標準経路があるのではなく、干渉計に対する測定対象物の各変位において測定対象物の各方向毎に異なる標準経路がある。

#### 【0047】

1 つ以上の光学部品の欠陥（例えば、光学表面の平面性の偏差、またはある構成部品の屈折率のばらつき）あるいは光源 115 の不安定性またはミスアライメントによって、入力ビーム 122、測定ビーム 121、および／または出力ビーム 123 の成分の経路は、標準ビーム経路から偏差する場合がある。これらの偏差によって、測定ビームと基準ビームとの間に光学経路の差が生じ、平面ミラー干渉計について上述した式（2）によって与えられるような関係によって示される光路差から変動する可能性がある。システム 100 は、これらの偏差によって生じる光路差に対する影響に対処するために、1 つ以上の測定可能なシステム・パラメータの関数としてパラメータ化した補正データを備えた参照テーブルにアクセスし、補正した光路差に基づいて、干渉計 110 に対する測定対象物の変位を判定する。正確な光路差の判定については、以下で具体的な干渉計について詳細に説明する。

#### 【0048】

ある実施形態では、干渉計 110 は、高安定性平面ミラー干渉計（HSPMI）である。図 2 を参照すると、HSPMI 111 は、偏光ビーム・スプリッタ 30、逆反射体 32、1/4 波位相遅延板 34 および 36、ならびに平面ミラー基準物 42 を含む。入力ビーム 122 は 2 成分ビームである。この 2 成分は、異なる周波数を有し、直交平面偏光となっている。異なる周波数は、発光源 115 において、例えば、レーザ・ゼーマン分割（laser Zeeman splitting）、光音響変調、または複屈折素子等を用いてレーザ内部において生成することができる。HSPMI 111 は、入力ビーム 122 を 2 つの成分に分割する。一方の成分は、第 1 および第 2 パス測定ビーム 22 および 24 として示されており、HSPMI 111 から射出する前に、測定対象物 190 により 2 回反射される。他方の成分は、第 1 および第 2 パス基準ビーム 28 および 27 によって示されており、HSPMI 111 から射出する前に基準ミラー 42 により 2 回反射される。射出したビーム成分は、重なり合い、出力ビーム 123 を形成する。

#### 【0049】

電気干渉信号 52 は、検出器 120 において、出力ビーム 123 の検出によって生成さ

10

20

30

30

40

50

れる。検出器 120 は偏光板を含み、出力ビーム 123 の基準および測定ビーム成分を、偏光に関して混合する。電気干渉信号 52 は、ヘテロダイン位相 を有するヘテロダイン信号を含む。

【0050】

H S M P I 111 によって測定する物理的変位  $L$  と H S P M I 111 からのヘテロダイン信号の測定位相 との間の関係を論ずるに当たり、図3を参照する。位相 は、以下の式によって、よい近似が与えられる。

【0051】

【数5】

$$\frac{\Phi}{k} = L \left\{ \begin{array}{l} \cos \theta_x \cos \theta_y \frac{[1 + \cos 2(\theta_x + \alpha_x) \cos 2(\theta_y + \alpha_y)]}{\cos(\theta_x + \alpha_x) \cos(\theta_y + \alpha_y)} \\ + \cos \theta_x \cos \theta_y \frac{[1 + \cos 2(\theta_x + \alpha_x + \beta_x) \cos 2(\theta_y + \alpha_y + \beta_y)]}{\cos(\theta_x + \alpha_x + \beta_x) \cos(\theta_y + \alpha_y + \beta_y)} \\ + \frac{1}{2} (\beta_x + \gamma_x) (4\theta_x + 4\alpha_x + 2\beta_x) \\ + \frac{1}{2} (\beta_y + \gamma_y) (4\theta_y + 4\alpha_y + 2\beta_y) \end{array} \right\} \quad (4)$$

10

20

30

40

ここで、 $L$  は点 N、偏光ビーム・スプリッタ 30 を通して見たときの逆反射体 32 の節点の共役と、干渉系 111 について定義した測定軸に沿った対象ミラー 190 との間の距離、 $k$  は光源 115 の波長 に対応する波数、 $\alpha_x$  および  $\alpha_y$  はそれぞれ対象ミラー 190 の  $x$  および  $y$  軸を中心とした回転、 $\beta_x$  および  $\beta_y$  は、それぞれ、 $x - z$  および  $y - z$  平面における干渉計測定軸に対する入力ビームの方向の偏差、 $\gamma_x$  および  $\gamma_y$  は、 $\alpha_x = \alpha_y = 0$  でのそれぞれ  $x - z$  および  $y - z$  面における H S M P I 111 に向かって伝搬する第1パス測定ビーム 22 の成分の伝搬方向に対する、対象ミラー 190 に向かって伝搬する第2パス測定ビーム 24 の成分の方向の偏差、そして  $\beta_x$  および  $\beta_y$  は、 $\alpha_x = \alpha_y = 0$ 、および  $\gamma_x = \gamma_y = 0$  でのそれぞれ  $x - z$  および  $y - z$  平面において H S P M I 111 に向かって伝搬する第2パス測定ビーム 24 の成分の方向に対する、出力ビーム 123 の測定ビーム成分の方向の偏差である。尚、 $\alpha_x$  および  $\alpha_y$  は、第1パス・ビームの方向に対する第2パス測定ビームの成分の方向の偏差として表すが、等価的に、これらの偏差は、標準経路からの第1および第2パス・ビームの偏差として表すこともできる。

【0052】

逆反射体 32 の節点の共役の位置は、偏光ビーム・スプリッタ 30 および逆反射体 32 の屈折率の大きさに応じて、偏光ビーム・スプリッタ 30 を通して見た場合の、逆反射体 32 の頂点の共役から変位している。

【0053】

$x - z$  および  $y - z$  平面における出力ビーム 123 の基準および測定ビーム成分の伝搬方向の差  $\alpha_x$  および  $\alpha_y$  は、次のようになる。

【0054】

【数6】

$$\delta_x = \beta_x + \gamma_x \quad (5)$$

$$\delta_y = \beta_y + \gamma_y \quad (6)$$

式(4)は、以下のようにべき級数に展開することができる。

【0055】

10

【数7】

$$\frac{\Phi}{4kL} = \begin{bmatrix} 1 - (\theta_x^2 + \theta_y^2) - \theta_x \left( \alpha_x + \frac{\beta_x}{2} - \frac{\delta_x}{2} \right) \\ - \theta_y \left( \alpha_y + \frac{\beta_y}{2} - \frac{\delta_y}{2} \right) - \frac{1}{2} (\alpha_x^2 + \alpha_y^2) \\ - \frac{1}{2} (\alpha_x \beta_x + \alpha_y \beta_y) + \frac{1}{2} (\alpha_x \delta_x + \alpha_y \delta_y) \\ + \frac{1}{4} (\beta_x \delta_x + \beta_y \delta_y) - \frac{1}{4} (\beta_x^2 + \beta_y^2) + \dots \end{bmatrix} \quad (7)$$

20

ここで、主要項(leading term)は、二次項によって保持されている。標準経路からの偏差の影響を更に容易に特定するためには、式(7)を次のように書き直すとよい。

【0056】

【数8】

$$\frac{\Phi}{4kL} = \begin{bmatrix} 1 - \left[ \theta_x + \frac{1}{2} \left( \alpha_x + \frac{\beta_x}{2} - \frac{\delta_x}{2} \right) \right]^2 - \left[ \theta_y + \frac{1}{2} \left( \alpha_y + \frac{\beta_y}{2} - \frac{\delta_y}{2} \right) \right]^2 \\ - \frac{1}{4} \left( \alpha_x + \frac{\beta_x}{2} - \frac{\delta_x}{2} \right)^2 - \frac{1}{4} \left( \alpha_y + \frac{\beta_y}{2} - \frac{\delta_y}{2} \right)^2 \\ - \frac{1}{8} (\beta_x^2 + \beta_y^2) + \frac{1}{8} (\delta_x^2 + \delta_y^2) \dots \end{bmatrix} \quad (8)$$

30

40

式(8)によれば、偏差の影響は、x - z および y - z 平面において有効測定軸の方向を以下の  $\alpha_x$  および  $\alpha_y$  だけそれぞれ変化させることに相当し、

【0057】

【数9】

$$\eta_x = -\frac{1}{2} \left( \alpha_x + \frac{\beta_x}{2} - \frac{\delta_x}{2} \right) \quad (9)$$

【0058】

【数10】

$$\eta_y = -\frac{1}{2} \left( \alpha_y + \frac{\beta_y}{2} - \frac{\delta_y}{2} \right) \quad (10)$$

10

20

更に、有効倍率または等価波長を係数だけ変化させることに相当する。

【0059】

【数11】

$$\begin{aligned} \zeta = 1 - \frac{1}{4} \left( \alpha_x + \frac{\beta_x}{2} - \frac{\delta_x}{2} \right)^2 - \frac{1}{4} \left( \alpha_y + \frac{\beta_y}{2} - \frac{\delta_y}{2} \right)^2 \\ - \frac{1}{8} \left( \beta_x^2 + \beta_y^2 \right) + \frac{1}{8} \left( \delta_x^2 + \delta_y^2 \right) \dots \end{aligned} \quad (11)$$

20

このため、標準経路からの入力および/または測定ビーム経路の偏差に起因する光路差に対する影響に対処するために、式(2)を次のように表し直すことができる。

【0060】

【数12】

$$\Phi = 2pkL\zeta \left[ 1 - (\theta_x - \eta_x)^2 - (\theta_y - \eta_y)^2 \right] \quad (12)$$

30

ここで、項は二次まで保持されている。

【0061】

尚、誤差<sub>x</sub>および<sub>y</sub>は、信号52のヘテロダイン信号の大きさに影響を及ぼす可能性があるが、この理由は、これらの誤差は、出力ビームにおける測定および基準ビーム成分が重なり合う程度に関係があるからであり、ヘテロダイン信号のみの大きさは、ビーム経路偏差の正確な指標でない可能性がある。これは、<sub>x</sub>および<sub>y</sub>は実質的に0であっても、<sub>x</sub>および<sub>y</sub>の他の成分は未だ光路差に影響し得るからである。

【0062】

偏差<sub>x</sub>および<sub>y</sub>は、通例、光源115およびそれぞれのビームシステムの安定性およびアライメントの関数である。角度干渉計150(図1に示す)により、<sub>x</sub>の測定を行い、角度干渉計150に対して直交するように配置された同様の角度変位干渉計(図示せず)により、<sub>y</sub>を測定することができる。光源115およびビーム伝送システムが十分に安定な実施形態では、干渉測定システム100は、サブシステム151を含む必要がなく、<sub>x</sub>および<sub>y</sub>を必要に応じて、周期的なシステムメンテナンスの間に再較正することができる。

【0063】

図4から図8を参照すると、角度干渉計の一例は干渉計700であり、これは、所定の光軸に対するビーム712の伝搬の平均的方向の一面において角度測定を行う。角度干渉

40

50

計 700 は、概略的に符号 830 で示すビーム分配アセンブリ (beam shearing assembly) 、分析器 840 、レンズ 846 、検出器 860 、および電子プロセッサ 870 を含む。ヘテロダイン干渉測定では、入力ビーム 712 は、 $f_1$  の周波数差を有する 2 つの直交偏光ビーム成分を含む。2 つの直交偏光成分の偏光面は、図 4 の面に対してそれぞれ平行および直交である。

【0064】

ビーム分配アセンブリ 830 は、それぞれ 2 つの直交偏光ビーム 850 および 852 間に、横方向ずれ  $S_{a1}$  を導入する。空間的にずらされた出力ビーム 850 および 852 の各々の一部は、分析器 840 を透過して、それぞれ、成分 854 および 856 となる。分析器 840 は、ビーム成分 854 および 856 の双方が図 4 の面に対して 45 度に配置されている共通面において偏光されるように、向きが決められている。

【0065】

次に、ビーム成分 854 および 856 がレンズ 846 に入射し、レンズ 846 により、ビーム成分 854 および 856 が検出器 860 上のスポットに合焦し、好ましくは量子光子検出器 (quantum photon detector) によって検出され、電気干渉信号 862 、即ち、ヘテロダイン信号  $s_1$  が生成される。スポットは、ほぼ重なり合っている。ヘテロダイン信号  $s_1$  は、電子プロセッサ 870 に送信され、信号  $s_1$  のヘテロダイン位相、および図 4 の面におけるビーム 712 の対応する平均伝搬方向が決定される。

【0066】

ビーム分配アセンブリ 830 は、偏光ビーム・スプリッタ 832 および 838 、直角プリズム 833 、ならびに切頭ポロ・プリズム 835 および 836 を含む。図 4 の面内で偏光したビーム 712 の成分は、偏光ビーム・スプリッタ 832 を透過し、直角プリズム 833 によって反射され、切頭ポロ・プリズム 836 によって方向を変えられ、偏光ビーム・スプリッタ 838 によって反射され、ビーム 850 となる。図 4 の面に対して直交する方向に偏光されたビーム 712 の成分は、偏光ビーム・スプリッタ 832 によって反射され、切頭ポロ・プリズム 835 によって方向を変えられ、直角プリズム 837 によって反射され、偏光ビーム・スプリッタ 838 を透過して、ビーム 852 となる。

【0067】

尚、好ましくは、ビーム 854 および 856 の各々のビーム分配アセンブリ 830 および分析器 840 を通過するガラス内光路は、同一である。第 1 実施形態の装置設計のこの特徴によって、温度変化に対して非常に安定した干渉計システムが得られる。

【0068】

ヘテロダイン信号  $s_1$  は、以下のように書き表すことができる。

【0069】

【数 13】

$$s_1 = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1 + \zeta_1) \quad (13)$$

ここで、

【0070】

【数 14】

$$\varphi_1 = 2k_1 n [d_1 \cos \theta'_1 + d_2 \cos \theta'_2 - d_3 \cos \theta'_3 - d_4 \cos \theta'_4] \quad (14)$$

$\zeta_1 = 2 \pi f_1 t$  、  $\zeta_1$  は、位相

【0071】

【数15】

$$\phi_1$$

と関連のないオフセット位相、 $k_1 = 2\pi / \lambda_1$ 、 $\lambda_1$ は入力ビーム712の波長、 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ は、それぞれ、直角プリズム833および偏光ビーム・スプリッタ838におけるビーム850の入射角、 $\theta_3$ および $\theta_4$ は、それぞれ、偏光ビーム・スプリッタ832および直角プリズム837におけるビーム852の入射角であり、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、および $d_4$ は、図5に定義されている。式(14)において、本発明の範囲および技術範囲から偏差することなく本発明の特徴を簡潔に論証するため、ビーム分配アセンブリ30における光路の全ては同じ屈折率を有すると仮定した。 $d_1 = d_3$ 、 $d_2 = d_4$ 、 $\theta_1 + \theta_2 = \pi/2$ 、かつ $\theta_3 + \theta_4 = \pi/2$ という非限定的な例について、式(14)を、

【0072】

【数16】

$$\phi_1$$

についてのより簡単な表現に変形する。

【0073】

【数17】

10

20

$$\phi_1 = 2^{1/2} k_1 n \left[ \begin{aligned} & (d_1 - d_2) [\cos(\theta'_1 + \pi/4) + \cos(\theta'_4 + \pi/4)] \\ & + (d_1 + d_2) [\sin(\theta'_1 + \pi/4) - \sin(\theta'_4 + \pi/4)] \end{aligned} \right] \quad (15)$$

横方向ずれ $S_{a1}$ は、次の式にしたがって、ビーム分配アセンブリ830の特性に関係する。

【0074】

【数18】

30

$$S_{a1} = 2 \left[ \begin{aligned} & (d_1 \sin \theta'_1 - d_2 \sin \theta'_2) \sec \phi'_1 \cos \phi_1 \\ & + (d_3 \sin \theta'_3 - d_4 \sin \theta'_4) \sec \phi'_3 \cos \phi_3 \end{aligned} \right] \quad (16)$$

ここで、 $\theta_1$ および $\theta_2$ は、偏光ビーム・スプリッタ832の入射面におけるビーム850の入射角および屈折角、そして $\theta_3$ および $\theta_4$ は、偏光ビーム・スプリッタ832(図5参照)の入射面におけるビーム852の入射角および屈折角である。

【0075】

40

前述の非限定的な例では、

【0076】

【数19】

$$S_{a1} = 2^{1/2} \left\{ \begin{aligned} & \left( d_1 - d_2 \right) \left[ \sin(\theta'_1 + \pi/2) \sec \phi'_1 \cos \phi_1 \right. \\ & \left. + \sin(\theta'_4 + \pi/2) \sec \phi'_3 \cos \phi_3 \right] \\ & + \left( d_1 + d_2 \right) \left[ \sin(\theta'_1 - \pi/2) \sec \phi'_1 \cos \phi_1 \right. \\ & \left. - \sin(\theta'_4 - \pi/2) \sec \phi'_3 \cos \phi_3 \right] \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

となる。

10

【0077】

式(16)および(17)によって  $S_{a1}$  に関して得られた式は、ビームずれの生成に用いられる主な機構を表している。しかしながら、入射角依存移相(例えば、グーズ・ヘンヒエン効果: Goos - Hanchen effect)と関連付けるというような、ビームずれを導入する他の機構もある。

【0078】

振幅  $A_1$  は、 $|h(p_1)|^2$  のフーリエ変換のフーリエ成分の良い近似に比例する。即ち、

【0079】

【数20】

20

$$A_1 \propto \int |h(p_1)|^2 \cos[4k_1 p_1 S_1] dp_1 \quad (18)$$

ここで、 $h(p_1)$  は、レンズ 846 におけるビーム 854 または 856 の一方の振幅に、レンズ 846 の瞳関数を乗算したもののフーリエ変換である。

【0080】

【数21】

30

$$P_j = \sin \theta_{o,j} + \sin \theta_{i,j}, j = 1, 2, \dots, \quad (19)$$

$\theta_{o,j}$  および  $\theta_{i,j}$  の定義は図 6 に示されている。角度  $\theta_{o,j}$  および  $\theta_{i,j}$  は、物体およびレンズ 846 の画像空間におけるビーム  $j$  の主要光線の共役角である。 $p_j$  の定義は図 7 に示されている。

【0081】

式(14)および(15)から、光ビームの方向変化に関する位相  $\phi_1$  の解像度は、長さ  $2^{3/2} (d_1 - d_2)$  が増大するにつれて、高くなることは明らかである。しかしながら、 $2^{3/2} (d_1 - d_2)$  の使用可能範囲は、式(18)で示した  $|h(p_1)|^2$  のフーリエ変換の空間周波数帯域によって規定される。

40

【0082】

$2^{3/2} (d_1 - d_2)$  の最適値は、一般に、それぞれの瞳を透過するビームの特性空間寸法(characteristic spatial dimension)の約半分に等しい。例えば、レンズ 846 におけるビーム 854 およびビーム 856 双方に対する図 4 の面における寸法  $b$  の矩形瞳、ならびにそれぞれの瞳全域にわたって均一なビーム 854 および 856 の振幅の場合を考える。この場合、 $|h(p_1)|^2$  は、二乗したサイン関数、即ち、 $(\sin x / x)^2$  であり、 $|h(p_1)|^2$  のフーリエ変換は、三角関数である。三角関数は、 $2^{3/2} (d_1 - d_2) = 0$  に対して 1 の最大値を有し、 $2^{3/2} (d_1 - d_2) = b$  に対して 0 の値を有する。したがって、 $2^{3/2} (d_1 - d_2) = b$  では振幅  $A_1 = 0$  となり、光ビームの方向変化に関する位相  $\phi_1$  の解像度は、 $2^{3/2} (d_1 - d_2) = 0$  に対

50

して 0 となる。故に、 $2^{3/2} (d_1 - d_2)$  の最適値は、この場合約  $b / 2$  となる。 $2^{3/2} (d_1 - d_2)$  の実際の最適値は、例えば、信号対ノイズ比に対して最適な動作条件を定義するために用いられる基準によって異なる。ビーム 712 の成分がガウス強度特性を有する場合、 $2^{3/2} (d_1 - d_2)$  の最適値は、近似的に  $w$  となる。 $w$  は、ビーム 712 の強度が、その中心におけるビーム 712 の強度の  $1/e$  に等しい値を有する場合の半径である。

【0083】

ガウス強度特性を有し、 $2w = 5.0 \text{ mm}$ 、 $\phi_1 = 45^\circ$ 、そして  $\phi_3 = 633 \text{ mm}$  のビームの例では、微分形式で表現した  $d_1$  および  $d_3$  の変化に対する位相

【0084】

【数22】

10

$\phi_1$

の感度は、次の式で与えられる。

【0085】

【数23】

$$d\phi_1 = k_1 w \left[ \frac{d\phi_1 + d\phi_3}{2} \right] \quad (20)$$

$$= -2.5 \times 10^4 \left[ \frac{d\phi_1 + d\phi_3}{2} \right]$$

20

尚、式(20)から明白なように、角度  $d_1$  および  $d_3$  の変化に対する位相

【0086】

【数24】

30

$\phi_1$

の変化の感度は、屈折率  $n$  には無関係である。これは、角度干渉計の第1実施形態の重要な特性の1つである。即ち、角度  $d_1$  および  $d_3$  の変化に対する位相

【0087】

【数25】

$\phi_1$

40

の変化の感度は、ビーム分配アセンブリ 830 の光学素子の屈折率の熱誘導変化に対して、一次のオーダーでは依存せず、ビーム分配アセンブリ 830 の光学素子の熱膨張係数のみに依存する。ビーム分配アセンブリ 830 の素子の熱係数は、 $0.5 \text{ ppm}$  / 未満となるように選択することができる。同様の理由により、

【0088】

【数26】

$\phi_1$

50

の値が 0 の場合、ビーム分配アセンブリ 830 の温度変化に対する感度も対応して低くなる。

【0089】

第 1 実施形態によって対処可能な、平均値  $[d_1 + d_3] / 2$  の範囲に制約を加える 2 つの主要な量は、差  $[d_1 - d_3] / 2$  の大きさと、検出器 860 の感應面積のサイズである。ヘテロダイン信号の振幅は、 $wk_1 [[d_1 - d_3] / 2] - 1$  のとき、約 2 分の 1 に減少する。特定の最終使用用途に必要であれば、式(20)において省略した  $d_1$  および  $d_3$  の高次項は、式(12)から容易に決定することができる。

【0090】

図 8 にビーム分配アセンブリ 830 の別の実施形態が模式的に示されており、2 つのプリズム 8330 および 8332 と、偏光ビーム・スプリッタ・インターフェース 8340 とを含む。入力ビーム 712 の第 1 成分は、偏光ビーム・スプリッタ界面 8340 を 2 回透過し、プリズム 8330 および 8332 の小平面によって反射され、出力ビーム 8350 を形成する。入力ビーム 712 の第 2 成分は、偏光ビーム・スプリッタ界面 8340 によって 2 回反射され、プリズム 8330 および 8332 の小平面によって反射されて、ビーム 8350 および 8352 を形成する。

【0091】

2 つのプリズム 8330 および 8332 ならびに偏光ビーム・スプリッタ界面 8340 は、ビーム 712 の伝搬方向ならびにビーム 8350 および 8352 の伝搬方向の関係に関しては、ペンタ・プリズムと同じ特性を示す。プリズム 8330 および 8332 は、好みしくは同形であり、相対的なサイズは、ビーム 8350 および 8352 の間にビームずれ  $S_{a3}$  を導入するように選択する。屈折媒体内における光路は、ビーム 8350 および 8352 に対して実質的に同一である。ビーム 8350 および 8352 に関する残りの説明は、ずれ  $S_{a1}$  をずれ  $S_{a3}$  と置き換えれば、第 1 実施形態のビーム 850 および 852 について行った説明の対応する部分と同一である。

【0092】

追加の角度変位干渉計の詳細は、2000 年 11 月 9 日に公開されたヘンリー エー・ヒル (Henry A. Hill) による PCT 公開 WO 00/66969 号、および 2002 年 10 月 15 日に出願され、「光ビーム方向の変化を測定するための干渉計」(INTERFEROMETER FOR MEASURING CHANGES IN OPTICAL BEAM DIRECTIONS) と題するヘンリー エー・ヒルによる米国特許出願第 10/272,034 号に開示されている。前者の内容は、参照により本願に引用する。

【0093】

再度図 2 および図 3 を参照すると、偏差  $x_x, y_y, x_x$  および  $y_y$  は、HSPMI 111 および / または測定対象物 190 に依存する。ビーム経路偏差の原因となる欠陥の非均質性のために、偏差  $x_x, y_y, x_x$  および  $y_y$  は、異なる標準経路に対して変動する可能性がある。更に、偏差  $x_x, y_y, x_x$  および  $y_y$  は、入力ビームの伝搬方向の関数として変動する可能性がある。したがって、偏差  $x_x, y_y, x_x$  および  $y_y$  を、干渉計に対する測定対象物変位、測定対象物の角度方向、および入力ビーム伝搬方向の関数としてパラメータ化する。

【0094】

精密計測用途に用いられる干渉計では、これらの変動は、通例では、時間と共にゆるやかに変動するだけである。したがって、干渉計のその最終使用用途における設置の前にこれらの偏差を決定することができる。このデータを、参照表のような表現で格納し、システム 100 を用いて取得した干渉位相データを分析するときにアクセスする。別の実施形態では、観察可能なパラメータをビーム偏差に関係付ける表現は、関数表現の形態(例えば、1 つ以上の代数関数)とすることができます、これらの関数を用いて、ビーム偏差をパラメータから決定することができます。

【0095】

10

20

30

40

40

50

ある実施形態では、測定対象物変位を、繰り返しプロセスを用いて決定することができる。干渉法で決定したパラメータ（例えば、測定対象物変位および／または角度方向）によって補正データをパラメータ化する場合、システムは、系がパラメータに対してある値に収束するまで、パラメータおよび偏差項の決定を繰り返すことができる。例えば、偏差データを測定対象物変位によってパラメータ化する場合、システムは、式(2)を用いて測定した位相から変位に対する初期判定を行うことができる。次に、システムは、初期変位値を用いて、表現から偏差項を決定することができる。このデータを用いて、システムは式(12)を用いて変位を再度計算して、一回補正した変位値を得る。システムは、一回補正した変位値に基づいて偏差項を再決定することによりこのプロセスを繰り返す。このプロセスを、補正変位が適当に収束するまで繰り返すことができる。

10

## 【0096】

観察可能なパラメータを偏差角度に関係付けるデータは、その最終使用用途において干渉計および他の構成部品を設置する前の較正手順において特徴付けることができる。偏差  $x$ 、 $y$ 、 $x$ 、および  $y$  は、非偏光ビーム・スプリッタによって、該当するビームの一部を分割し、入力ビームの測定対象物変位、方向角度、および／または方向を走査しながら、ビーム方向を監視することによって測定することができる。例えば、 $x$  または  $y$  を決定するために、測定ビームの測定対象物までの第1パス経路および第2パス経路双方に、ビーム・スプリッタを配置することができる。次いで、ビーム・スプリッタによって測定ビーム経路から外れて進むビームの方向を監視することによって、測定ビーム方向を経路毎に追跡しつつ、システムは測定対象物変位、方向角度および／または干渉計の入力ビーム方向を走査する。

20

## 【0097】

偏差  $x$ 、 $y$ 、 $x$ 、および  $y$  は、干渉計および／または平面ミラー測定対象物における欠陥によって、非ゼロ値を取る。例えば、平面ミラー測定対象物の表面欠陥によって、 $x$  および／または  $y$  が非ゼロ値となる可能性があり、これによって、第1および／または第2経路測定ビームの標準経路からの偏差が発生する可能性がある。あるいは、または加えて、干渉計を構成する光学部品の欠陥が、測定ビームの測定対象物への最初の通過の前、またはビームの測定対象物への最初と2回目の通過の間に、 $x$  および／または  $y$  に影響を与える可能性がある。

30

## 【0098】

ビームの方向は、干渉法によりまたは干渉法以外でも監視することができる。ビーム方向を監視するのに適した干渉計の例には、前述の角度干渉計等の角度干渉計、およびハートマン・シャック干渉計が含まれる。

## 【0099】

ハートマン・シャック干渉計は、測定する1対の重複ビームの経路内に配置された小型レンズ・アレイを利用する。検出器を、小型レンズ・アレイの焦点面に配置する。ビームが一致し、それらの経路が小型レンズの光軸と平行となるときに、ビームは、同じく小型レンズの光軸と一致するスポットのアレイに合焦する。しかしながら、一方のビームの方向がずれると、ずれていないビームに対応する位置とは異なる位置に合焦する。これらの偏差は、検出計によって追跡することができ、そのデータを用いれば、小型レンズ・アレイの特性および位置に基づいて、ビーム伝搬方向を計算することができる。ハートマン・シャック干渉計（ハートマン・シャックセンサとも呼ばれている）の他の用途における使用が、例えば、ライアン・ジェーおよび共同研究者による「ハートマン・シャック波面センサの使用による人の目の波収差の客観的測定」（Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor）（J. Opt. Soc. Am. (A), 14, 2873083 (1997)）、およびピエ・エム・プリエト（P. M. Prieto）および共同研究者による「人の目におけるハートマン・シャック・センサの性能分析」（Analysis of the performance of the Hartmann-Shack sensor in

40

50

the human eye) (J. Opt. Soc. Am. (A), 17, 1388-98 (2000))に開示されている。

### 【0100】

ビーム方向を監視する非干渉的方法は、例えば、画素状検出器アレイ（例えば、CCDカメラ）を用いてビーム方向を追跡することを含む。ビーム方向が変化すると、ビームは、アレイ内の異なる検出素子に入射する。測定対象物変位、方向角、および入力ビーム方向を走査しながらアレイ上のビーム位置を追跡することによって、システムは、ビーム方向の変動を、走査するパラメータの関数として判定することができる。画素状検出器アレイを用いる場合、追跡するビームの検出器アレイへの光路は、十分な角度分解能が得られるように、十分に長くなければならない。

10

### 【0101】

前述の偏差は、ここに開示する技法を用いて、直接監視することができるが、干渉計システムの構成部品の欠陥は他の方法でも特徴化することができる。例えば、平面ミラー測定対象物の反射面における欠陥（例えば、ミラーの表面形状）は、ミラーの表面形状の尺度であるミラーの形状を測定することによって明らかにすることができます。各測定対象物の形状は、例えば、フィゾ干渉計を用いて特徴化することができる。測定対象物の一部の形状も、2001年5月10日に出願し「現場ステージ・ミラーの特徴化」(IN-SITU STAGE MIRROR CHARACTERIZATION)と題する、所有者が本願と同じである米国特許出願第09/853,114号、2002年8月13日に出願され同じく「現場ステージ・ミラーの特徴化」(IN-SITU STAGE MIRROR CHARACTERIZATION)と題する米国特許出願第10/217,531号、および同じ名称で2002年4月9日に出願した仮出願第60/371,172号の優先権を主張する、2003年4月3日に出願し、「ステージ・ミラー・マッピング方法および装置」(METHOD AND APPARATUS FOR STAGE MIRROR MAPPING)と題する米国特許出願第\_\_\_\_号に記載されているような技法によっても判定することができる。これらの出願は、発明者の名前としてヘンリー・アレン・ヒル(Henry Allen Hill)を挙げており、各々の内容全体は、参照により本願に引用する。

20

### 【0102】

光学部品における欠陥を直接測定する実施形態では、ビーム経路の偏差は、欠陥とビーム経路との間の既知の関係を用いて、欠陥から判定することができる。例えば、光線追跡ツールを用いれば、例えば、システム構成部品における光学面および全体的欠陥(bulk imperfection)に関する経験的データに基づいて、干渉計を通過すると予期されるビーム経路をビームに与えることができる。

30

### 【0103】

誤差較正の間および/またはシステム100の使用中、 $x$ および $y$ は、干渉法によって、または他の方法によって監視することができる。平面ミラー測定対象物の方向角を監視する干渉方法は、当技術分野では定着している。平面ミラー測定対象物の角度方向を干渉的に監視する1つの方法は、2つの変位測定干渉計（例えば、2つのHSPMI）を用いることである。干渉計の測定軸間の距離がわかっているれば、干渉計を用いて、測定軸によって規定される第1面内における測定対象物の方向を得ることができる。第1面に垂直な面における測定対象物の角度方向は、第3の変位測定干渉計を用いることによって決定することができ、その場合第3変位測定干渉計は、その測定軸、および他の干渉計の1つの測定軸が、第1面に対して垂直な面を規定するように配置される。かかる多軸測定は、多数のHSPMI等の多数の離散干渉計を用いることによって、または多自由度で測定対象物の位置を監視する多軸計測システムを用いることによって行うことができる。多軸計測システムの例は、「距離、角度、および散乱を測定するための動的ビーム方向制御センブリを有する単一パスおよび多重パス干渉計システム」(SINGLE-PASS AND MULTI-PASS INTERFEROMETRY SYSTEM HAVING A DYNAMIC BEAM-STEERING ASSEMBLY FOR

40

50

M E A S U R I N G D I S T A N C E, A N G L E, A N D D I S P E R S I O N ) と題する米国特許第 6,313,918 号、2003 年 2 月 28 日に出願され、「多重パス干渉測定法」(M U T I P L E - P A S S I N T E R F E R O M E T R Y) と題する米国特許出願第 10/352,616 号、および 2003 年 1 月 27 日に出願され、「多自由度干渉計」(M U L T I P L E D E G R E E O F F R E E D O M I N T E R F E R O M E T E R) と題する米国特許出願第 10/351,707 号に開示されている。これらは全て、ヘンリー エー. ヒルによるものである。

#### 【 0 1 0 4 】

干渉計 410 における誤差を低減するための前述の技法は、H S P M I に関して詳細に記載されているが、これらの技法は他の種類の干渉計にも適用することができる。例えば、誤差低減技法は、先に引用したような、多自由度干渉計に応用することができる。多自由度干渉計の一例を図 9 に示す。これは、測定対象物 440 の二つの自由度を測定する干渉計 410 を含む干渉計システム 400 を示す。干渉計 410 は、2 つの H S P M I に対応する複合光学アセンブリを含む。干渉計 410 に加えて、干渉計システム 400 は、光源 412、検出器 450 および 4150、ならびに電子プロセッサ 460 を更に含む。一方の H S P M I は、偏光ビーム・スプリッタ 430、逆反射体 432、1/4 波位相遅延板 434 および 436 を含み、第 1 および第 2 パス測定ビーム 4122 および 4124、ならびに出力ビーム 4126 を生成する。

#### 【 0 1 0 5 】

入力ビーム 420 は、光源 412 によって供給される。非偏光ビーム・スプリッタ 442 は、ビーム 420 を、各 H S P M I の入力ビームに対応する 2 つのビームに分割する。ミラー 444 は、ビーム 420 の方向転換された部分を、干渉計 410 に戻るように方向付ける。

#### 【 0 1 0 6 】

検出器 450 において、電気干渉信号 452 が、出力ビーム 426 の検出によって生成される。検出器 450 は、偏光に関して出力ビーム 426 の基準および測定ビーム成分を混合する偏光板を備えている。電子干渉信号 452 は、ヘテロダイン位相 <sub>1</sub> を有するヘテロダイン信号を含む。第 2 電気干渉信号 4152 が、検出器 4150 において、出力ビーム 4126 の検出によって生成される。検出器 4150 は、偏光に関して出力ビーム 4126 の基準および測定ビーム成分を混合する偏光板を備えている。電気干渉信号 4152 は、ヘテロダイン位相 <sub>2</sub> を有するヘテロダイン信号を含む。

#### 【 0 1 0 7 】

ヘテロダイン位相 <sub>1</sub> および <sub>2</sub> は、各々、式(4)および(7)に対応する式で表すことができる。したがって、各位相に対応する光路差は、前述の説明におけるように判定することができる。これらの光路差は、測定対象物表面上の 2 つの異なる位置における干渉計に対する測定対象物の変位に直接関係する。これらの位置は、ビーム 422 および 424、ならびにビーム 4122 および 4124 が表面に接触する中点にそれぞれ対応する。

#### 【 0 1 0 8 】

変位を測定した位置間の距離がわかっていれば、2 つの変位測定値を用いると、測定対象物の角度方向を判定することができる。システムは、2 つの変位測定値におけるビーム経路偏差によって生ずる光路差に対する影響を考慮しているので、システムは、角度方向測定におけるこれらの偏差も考慮する。

#### 【 0 1 0 9 】

ある実施形態では、該当するビーム偏差データを調べるために用いる測定対象物の角度方向の測定値を与え、干渉計に対する測定対象物の変位を決定するために干渉計 410 を用いることができる。言い換えると、かかる角度方向測定値は、<sub>x</sub> および <sub>y</sub> を決定し、更に式(12)における <sub>x</sub> 、<sub>x</sub> および <sub>y</sub> の適切な値を決定するために用いることができる。

#### 【 0 1 1 0 】

前述の実施形態では、測定および基準ビーム間の光路差は、干渉計に対する測定対象物

10

20

30

40

50

の変位に直接関係する。しかしながら、別の実施形態では、光路差が干渉計システムの他の自由度に直接関係付けられるような干渉計に対して、ここで説明した誤差補正技法を適用することができる。例えば、ある実施形態では、光路差を、測定対象物の角度方向に直接関係付けることができる。かかる実施形態に含まれる干渉計では、測定ビーム（基準ビームではない）のみが測定対象物に接触するのではなく、両ビームが異なる位置で測定対象物に接触するように方向付けられる。かかる構成では、位相は、2本のビーム経路によって規定される面における測定対象物の角度方向に直接関係する。かかる干渉計の例は、ヘンリー エー. ヒルによって2003年1月27日に出願され、「多軸干渉計」（MULTI-AXIS INTERFEROMETER）と題する、前述の米国特許出願第10/351,708号に記載されている。

10

## 【0111】

HSPMIについて先に記載した種類の分析は、これら他の種類の干渉計にも適用することができる。一般に、干渉計の幾何学的構成に基づいて、式（12）に対応する関係を決定することができ、続いて、システムは、この関係に基づいて干渉計の位相測定値から測定対象物の角度方向（またはその他の自由度）を決定することができる。

## 【0112】

更に一般的には、ここに開示する誤差補正技法を利用することができる干渉計の他の形式の例には、単一および多重パス干渉計（HSPMIは二重パス干渉計である）が含まれ、更に受動式干渉計、動的干渉計、および散乱干渉計が含まれる。代わりに、または加えて、誤差補正技法は、1つよりも多くの自由度を監視する干渉計、測定対象物の角度方向のばらつきを監視する干渉計、およびビーム伝搬方向を測定する角度変位干渉計にも適用することができる。

20

## 【0113】

動的干渉計の例は、ヘンリー エー. ヒルによって2002年8月23日に出願され、「入力ビームの方向を制御する動的干渉計」（DYNAMIC INTERFEROMETER CONTROLLING DIRECTION OF INPUT BEAM）と題する米国特許出願第10/226,591号に記載されている。受動的ゼロずれ干渉計の例は、ヘンリー エー. ヒルによる、2002年7月29日に出願され、「受動的ゼロずれ干渉計」（PASSIVE ZERO SHEAR INTERFEROMETER）と題する米国特許出願第10/207,314号に記載されている。角度変位干渉計の例は、双方ともヘンリー エー. ヒルによって2002年8月23日に出願され、「入力ビームの方向を制御する動的干渉計」（DYNAMIC INTERFEROMETER CONTROLLING DIRECTION OF INPUT BEAM）と題する米国特許出願第10/226,591号、および2001年8月22日に出願され、「角度感応ビーム・スプリッタを用いた受動的ゼロずれ干渉計」（PASSIVE ZERO SHEAR INTERFEROMETERS USING ANGLE SENSITIVE BEAM-SPLITTER）と題する米国仮特許出願第60/314,345号、ならびにヘンリー エー. ヒルおよびジャスティン クルーザー（Justin Kreuzer）によって2002年10月15日に出願され、「光ビーム方向の変化を測定するための干渉計」（INTERFEROMETER FOR MEASURING CHANGES IN OPTICAL BEAM DIRECTION）と題する米国特許出願第10/272,034号に記載されている。代わりに、あるいは加えて、干渉計システムは、1つ以上の差動角変位干渉計を含んでもよい。その例も米国特許出願第10/272,034号に記載されている。1つよりも多い自由度を測定し、ビームずれを減少させる干渉計システムの例は、ヘンリー エー. ヒルによる、2003年1月28日に出願され、「多重パス干渉計」と題する米国特許出願第10/352,616号に記載されている。多重パス干渉計のその他の形態は、「距離および角度測定用差動干渉計構成：原理、利点および応用」と題するジー. ザノーニによる論文（VDI-BERICHTE NR. 749, 93-106 (1989)）に記載されている。二波長散乱干渉計の例は、ヘンリー エー. ヒル、ピーター ディ グルート（Peter de Groot）、およびフランク

30

40

50

シー・デマレスト (Frank C. Demarest) による、多周パス干渉法を用いて空気の屈折率および光路長効果を測定する装置および方法」(APPARATUS AND METHOD FOR MEASURING THE REFRACTIVE INDEX AND OPTICAL PATH LENGTH EFFECTS OF AIR USING MULTIPLE-PASS INTERFEROMETRY) と題する米国特許 6,219,141 B1 号、およびピーター・ディ・グルート、ヘンリーエー・ヒル、およびフランク・シー・デマレストによる米国特許第 6,327,039 号に記載されている。

【0114】

ここに記載した干渉計システムは、非常に高精度の測定を行う。かかるシステムは、特に、コンピュータ・チップ等の大規模集積回路の製造に用いられるリソグラフィの用途において有用である。リソグラフィは、半導体製造業界にとっては中心的な技術牽引役である。オーバーレイの改良は、100 nm 線幅 (設計ルール) 以下における 5 つの最も難しい課題の 1 つである。例えば、半導体業界ロードマップ、82 頁 (1997) を参照のこと。

【0115】

オーバーレイは、ウェハおよびレチクル (即ち、マスク) ステージを位置決めする際に用いられる距離測定干渉計の性能、即ち、精度および精密さによって直接左右される。リソグラフィ・ツールは \$50 ~ 100 M / 年の製品を生産することができるので、距離測定干渉計の性能向上によって得られる経済的価値は相当大きい。リソグラフィ・ツールの歩留まりが 1 % 上昇する毎に、集積回路製造業者には \$1 M / 年の経済的利益が得られ、リソグラフィ・ツール供給業者は大きな競争力を得ることができる。

【0116】

リソグラフィ・ツールの機能は、空間的にパターン化された放射光をフォトトレジスト被覆ウェハに導くことである。このプロセスには、ウェハのどの位置が放射光を受光するか決定すること (アライメント)、および放射光をその位置にあるフォトトレジストに当てる (露出) を伴う。

【0117】

適正にウェハを位置決めするために、ウェハはウェハ上にアライメント・マークを含み、これを専用のセンサによって測定することができる。測定されたアライメント・マークの位置は、ツール内部におけるウェハの位置を規定する。この情報は、ウェハ表面の所望のパターニングの仕様と共に、空間的にパターン化された放射光に対してウェハの位置合わせを誘導する。かかる情報に基づいて、フォトトレジスト被覆ウェハを支持する並進可能なステージがウェハを移動させ、放射光がウェハの正しい位置を露光するようとする。

【0118】

露光の間、放射光源は、パターニングしたレチクルを照明し、パターニングしたレチクルは放射光を散乱させて、空間的にパターン化した放射光を生成する。レチクルはマスクとも呼ばれ、これらの用語は以降相互交換可能に用いることとする。縮小リソグラフィの場合、縮小レンズが散乱放射光を収集し、レチクル・パターンの縮小画像を形成する。あるいは、近接転写の場合、散乱放射光は、ウェハに接触する前に短距離 (通例、ミクロン単位) だけ伝搬し、レチクル・パターンの 1 : 1 画像を生成する。放射光は光化学プロセスをレジストにおいて開始し、放射光のパターンをレジスト内の潜像に変換する。

【0119】

干渉計システムは、位置決め機構の重要な構成要素であり、ウェハおよびレチクルの位置を制御し、レチクル画像をウェハ上に合わせる。かかる干渉計システムが上述の機構を含めば、システムが測定する距離の精度は高まり、距離測定に対する周期誤差の影響は最小限となる。

【0120】

一般に、リソグラフィ・システムは、露光システムとも呼ばれ、照明システムおよびウェハ位置決めシステムを含むのが通例である。照明システムは、紫外線、可視光、X 線、

10

20

30

40

50

電子、またはイオン放射線等の放射光を供給する放射光源と、パターンを放射光に付与することによって空間的にパターン化した放射光を生成するレチクル即ちマスクとを含む。加えて、縮小リソグラフィの場合、照明システムは、空間パターン化放射光をウェハ上に結像するレンズ・アセンブリも含むことができる。結像した放射光は、ウェハ上に被覆されているレジストを露光する。また、照明システムは、マスクを支持するマスク・ステージと、マスクを通過する放射光に対してマスク・ステージの位置を調節する位置決めシステムとを含む。ウェハ位置決めシステムは、ウェハを支持するウェハ・ステージと、結像放射線に対してウェハ・ステージの位置を調節する位置決めシステムとを含む。集積回路の製造は、多数の露光工程を含む。リソグラフィに関する一般的な参考文献としては、マイクロリソグラフィ：化学および技術 (Micro lithography : Science and Technology) (Marcel Dekker, Inc, New York, 1998)におけるジェー・アール・シーツ (J. R. Sheets) およびビー・ダブリュー・スミス (B. W. Smith) を参照のこと。その内容を参照により本願に引用する。

10

20

30

40

#### 【0121】

上述の干渉計システムは、各ウェハ・ステージ、およびレンズ・アセンブリ、放射光源、または支持構造等の露光システムの他の構成要素に対するマスク・ステージの位置を正確に測定するために用いることができる。かかる場合、干渉計システムを静止構造に取り付け、測定対象物を、マスクおよびウェハ・ステージの1つのような可動要素に取り付けることができる。あるいは、状況を逆にすることもでき、干渉計システムを可動物に取り付けて、測定対象物を静止物に取り付けることもできる。

#### 【0122】

更に一般的には、かかる干渉計システムは、露光システムの任意の構成要素の、露光システムの他の任意の構成要素に対する位置でも測定することができ、この場合、干渉計システムを構成要素の1つに取り付けるかまたはそれによって支持し、測定対象物を構成要素の他の1つに取り付けるかまたはそれによって支持する。

#### 【0123】

干渉計システム1126を用いたリソグラフィ・スキャナ1100の一例を図10に示す。干渉計システムは、露光システム内におけるウェハ(図示せず)の位置を正確に測定するために用いられる。ここで、ステージ1122は、ウェハを露光部に対して位置決めし、支持するために用いられる。スキャナ1100は、フレーム1102を含み、他の支持構造や、これらの構造上に載置されている種々の構成要素を保持する。露光ベース1104の上には、レンズ・ハウジング1106が取り付けられており、その上にレチクル即ちマスク・ステージ1116が取り付けられており、レチクル即ちマスクを支持するために用いられる。マスクを露光部に対して位置決めする位置決めシステムは、模式的に構成要素1117で示されている。位置決めシステム1117は、例えば、圧電変換素子と、対応する制御電子回路を含むことができる。ここに説明する実施形態には含まれないが、上述の1つ以上の干渉計システムも、マスク・ステージの位置や、リソグラフィ構造を製作するプロセスにおいて高精度に位置を監視しなければならないその他の可動エレメントの位置を正確に測定するために用いることもできる(先のシーツおよびスミスの「マイクロリソグラフィ：科学および技術」を参照のこと)。

#### 【0124】

露光ベース1104の下に懸下されているのは、支持ベース1113であり、これはウェハ・ステージ1122を保持する。ステージ1122は、干渉計システム1126によってステージに方向付けられる測定ビーム1154を反射する平面ミラー1128を含む。ステージ1122を干渉計システム1126に対して位置決めする位置決めシステムが、模式的に構成要素1119によって示されている。位置決めシステム1119は、例えば、圧電変換素子と対応する制御電子回路とを含む。測定ビームは、露光ベース1104上に取り付けられている干渉計システムで反射して戻って来る。干渉計システムは、先に説明した実施形態のいずれでも可能である。

#### 【0125】

50

動作の間、放射ビーム 1110、例えば、UV レーザ（図示せず）からの紫外線（UV）ビームがビーム整形光学アセンブリ 1112 を通過し、ミラー 1114 から反射した後、下方に進む。その後、放射ビームは、マスク・ステージ 1116 が保持するマスク（図示せず）を通過する。マスク（図示せず）は、レンズ・ハウジング 1106 内に保持されているレンズ・アセンブリ 1108 によって、ウェハ・ステージ 1122 上にあるウェハ（図示せず）上に結像する。ベース 1104 およびそれに支持されている種々の構成要素は、ばね 1120 によって表された減衰システムによって、周囲の振動から分離されている。

#### 【0126】

リソグラフィ・スキャナの他の実施形態では、先に説明した 1 つ以上の干渉計システムを用いて、多数の軸に沿った距離や、例えば、限定ではないが、ウェハおよびレチクル（即ち、マスク）ステージに関連する角度を測定することができる。また、UV レーザ・ビームの代わりに、他のビームを用いてウェハを露光することができ、例えば、X 線ビーム、電子ビーム、イオン・ビーム、および可視光ビームが含まれる。

#### 【0127】

実施形態の中には、リソグラフィ・スキャナが、当技術分野ではコラム基準 (column reference) として知られているものを含むことができる場合がある。かかる実施形態では、干渉計システム 1126 は、基準ビーム（図示せず）を外部基準経路に沿って導く。外部基準経路は、放射ビームを、例えば、レンズ・ハウジング 1106 に導く何らかの構造上に取り付けられた基準ミラー（図示せず）に接触する。基準ミラーは、基準ビームを反射して干渉計システムに戻す。ステージ 1122 から反射した測定ビーム 1154 およびレンズ・ハウジング 1106 上に取り付けられた基準ミラーから反射する基準ビームと組み合わせるときに干渉計システム 1126 によって生成される干渉信号は、ステージの放射ビームに対する位置の変化を示す。更に、他の実施形態では、干渉計システム 1126 は、レチクル（即ち、マスク）ステージ 1116 またはスキャナ・システムのその他の可動部品の位置変化を測定するように配置することができる。最後に、干渉計システムは、スキャナに加えて、またはその代わりに、ステッパを含むリソグラフィ・システムとでも、同様に用いることができる。

#### 【0128】

当技術分野では周知であるが、リソグラフィは、半導体デバイスを製作する製造方法の重要な部分である。例えば、米国特許第 5,483,343 号は、かかる製造方法の工程を概説している。これらの工程について、図 11a および図 11b を参照ながら以下に説明する。図 11a は、半導体チップ（例えば、IC または LSI）、液晶パネルまたは CCD のような半導体デバイスの製造シーケンスのフロー・チャートである。ステップ 1151 は、半導体デバイスの回路を設計する設計プロセスである。ステップ 1152 は、回路パターン設計に基づいてマスクを製造するプロセスである。ステップ 1153 は、シリコン等の材料を用いることによってウェハを製造するプロセスである。

#### 【0129】

ステップ 1154 は、前処理と呼ばれるウェハ・プロセスであり、前述のように用意したマスクおよびウェハを用いることによって、リソグラフィでウェハ上に回路を形成する。十分な空間解像度でマスク上のこれらのパターンに対応する回路をウェハ上に形成するためには、リソグラフィ・ツールのウェハに対する干渉法による位置決めが必要となる。ここに記載する干渉法およびシステムは、ウェハ・プロセスにおいて用いられるリソグラフィの有効性を高めるためには特に有用であると言えよう。

#### 【0130】

ステップ 1155 は、組立プロセスであり、後処理と呼ばれている。ここでは、ステップ 1154 によって処理されたウェハを半導体チップに形成する。このステップは、組立（切り出しおよび接合）および封入（チップ封止）を含む。ステップ 1156 は、検査ステップであり、ステップ 1155 によって生産された半導体デバイスの動作可能性チェック、耐久性チェック等を行う。これらのプロセスによって、半導体デバイスが完成し、こ

10

20

30

40

50

れらは出荷される（ステップ1157）。

【0131】

図11bは、ウェハ・プロセスの詳細を示すフロー・チャートである。ステップ1161は、ウェハの表面を酸化させる酸化プロセスである。ステップ1162は、ウェハ表面に絶縁膜を形成するCVDプロセスである。ステップ1163は、蒸着によってウェハ上に電極を形成する電極形成プロセスである。ステップ1164は、ウェハにイオンを打ち込むイオン打ち込みプロセスである。ステップ1165は、レジスト（フォトレジスト材料）をウェハに塗布するレジスト・プロセスである。ステップ1166は、露光（即ち、リソグラフィ）によって、マスクの回路パターンをウェハ上に前述の露光装置によって転写する露光プロセスである。繰り返すが、前述のように、ここに記載する干渉計システムおよび方法を用いることによって、かかるリソグラフィ・ステップの精度および解像度が向上する。

10

【0132】

ステップ1167は、露光したウェハを現像する現像プロセスである。ステップ1168は、現像したレジスト画像以外の部分を除去するエッチング・プロセスである。ステップ1169は、エッチング・プロセスを受けた後にウェハ上に残っているレジスト材を分離するレジスト分離プロセスである。これらのプロセスを繰り返すことによって、回路パターンをウェハ上に形成し重ね合わせる。

20

【0133】

前述の干渉計システムは、物体の相対的な位置を正確に測定する必要がある他の用途においても用いることができる。例えば、レーザ、X線、イオン、または電子ビーム等の書き込みビームが、基板またはビームが移動するに連れて、基板上にパターンを描く用途において、干渉計システムは、基板と書き込みビームとの間の相対的な移動を測定するために用いることができる。

20

【0134】

一例として、ビーム書き込みシステム1200の構成を図12に示す。光源1210は書き込みビーム1212を生成し、ビーム合焦アセンブリ1214は、放射ビームを、可動ステージ1218によって支持されている基板1216に向けて誘導する。ステージの相対的位置を決定するために、干渉計システム1220は、基準ビーム1222を、ビーム合焦アセンブリ1214上に取り付けられているミラー1224に向けて射出し、測定ビーム1226をステージ1218上に取り付けられているミラー1228に向けて射出する。基準ビームは、ビーム合焦アセンブリ上に取り付けられているミラーに接触するので、ビーム書き込みシステムは、コラム基準を用いるシステムの一例である。干渉計システム1220は、先に説明した干渉計システムのいずれでも可能である。干渉計システムが測定する位置の変化は、基板1216上の書き込みビーム1212の相対的位置の変化に対応する。干渉計システム1220は、基板1216上の書き込みビーム1212の相対的位置を示す測定信号1232をコントローラ1230に送る。コントローラ1230は、出力信号1234を、ステージ1218を支持し位置決めするベース1236に送る。加えて、コントローラ1230は信号1238を光源1210に送り、書き込みビームが十分な強度で基板に接触し、基板の選択位置において光物理的または光化学的变化を生じさせるように、書き込みビーム1212の強度を変化させるか、または遮断する。

30

【0135】

また、ある実施形態では、コントローラ1230により、ビーム合焦アセンブリ1214が、例えば、信号1244を用いて、基板のある領域に対し書き込みビームを走査する。その結果、コントローラ1230は、システムの他の構成要素に基板をパターニングするように指令する。パターニングは、通例、コントローラに格納されている電子設計パターンに基づく。用途によっては、書き込みビームが基板上に被覆されたレジストにパターニングする場合があり、更に別の用途では、書き込みビームが直接基板にパターニングを行う、例えば、エッチングする場合もある。

40

【0136】

50

かかるシステムの重要な用途の1つが、先に説明したリソグラフィ法において用いられるマスクおよびレチクルの製造である。例えば、リソグラフィ・マスクを製造するために、電子ビームを用いて、クロムを被覆したガラス基板にパターニングすることができる。書き込みビームが電子ビームであるような場合では、ビーム書き込みシステムは電子ビーム経路を真空間に封入する。また、書き込みビームが例えば電子またはイオン・ビームである場合、ビーム合焦アセンブリは、荷電粒子を真空間下の基板上で合焦し射出する四重レンズ等の電界発生器を含む。書き込みビームが放射ビーム、例えば、 $\times$ 線、UV、または可視光線である場合、ビーム合焦アセンブリは、対応する光学部品を含み、放射光線を基板に向けて射出しそこに合焦させる。

#### 【0137】

以上、本発明の多数の実施形態について説明した。しかしながら、本発明の技術思想及び範囲から偏差することなく、種々の変更も可能であることは理解されよう。したがって、その他の実施形態も特許請求の範囲に該当するものとする。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0138】

【図1】干渉計システムの一実施形態の概略図。

【図2】高安定性平面ミラー干渉計(HSPMI)の概略図。

【図3】図2のHSPMIにおけるビームについて、ビーム経路偏差を示す概略図。

【図4】角度変位干渉計の一実施形態の概略図。

【図5】図4に示す角度変位干渉計の部分を通過するビームの経路を示す概略図。

【図6】図4に示す角度変位干渉計の他の部分を通過するビームの経路を示す概略図。

【図7】図4に示す角度変位干渉計の他の部分を通過するビームの経路を示す概略図。

【図8】ビーム分配アセンブリの一実施形態の概略図。

【図9】多自由度干渉計の一実施形態の概略図。

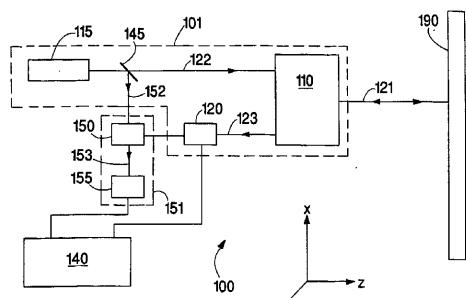
【図10】干渉計を含むリソグラフィ・ツールの一実施形態の概略図。

【図11a】集積回路を製造する工程を記述するフロー・チャート。

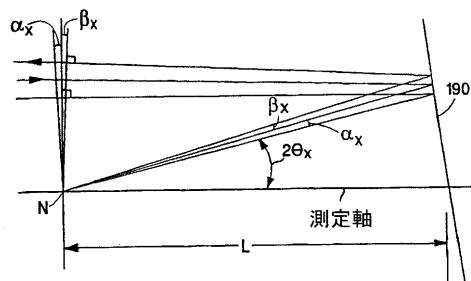
【図11b】集積回路を製造する工程を記述するフロー・チャート。

【図12】干渉計システムを含むビーム書き込みシステムの概略図。

【図1】



【 図 3 】



【 図 2 】

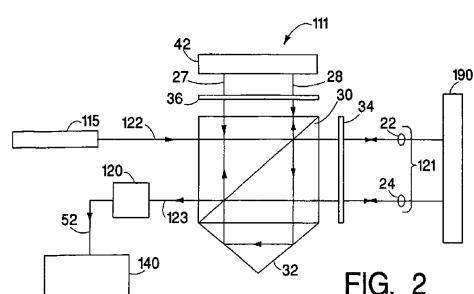


FIG. 2

【 図 4 】

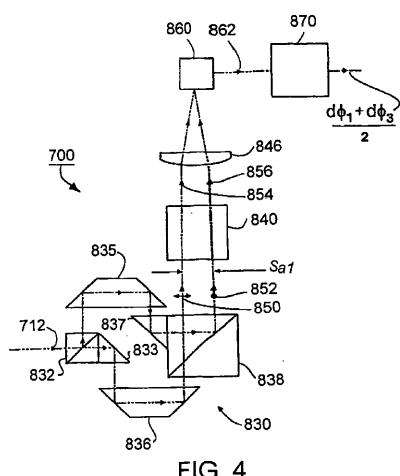


FIG. 4

【 图 5 】

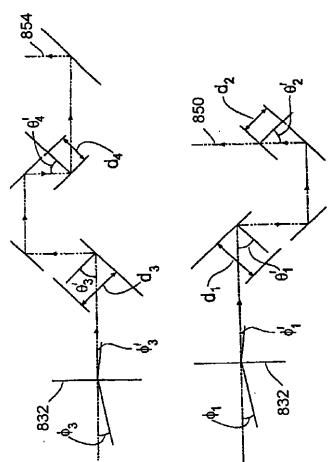


FIG. 5

【図6】

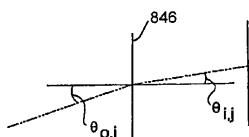


FIG. 6

【図7】

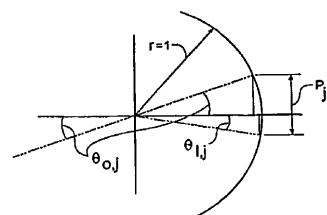


FIG. 7

【図8】

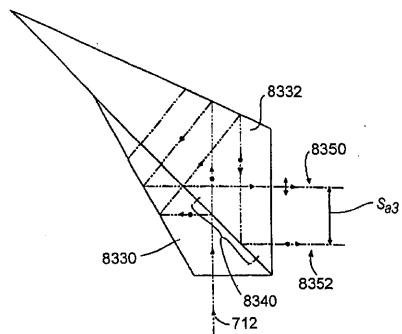


FIG. 8

【図9】

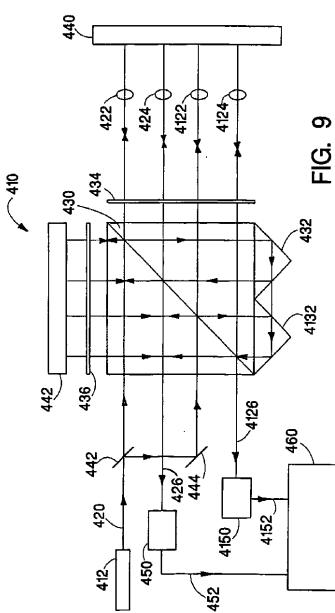


FIG. 9

【図10】

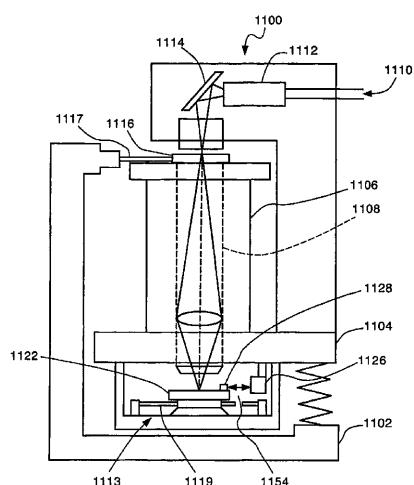
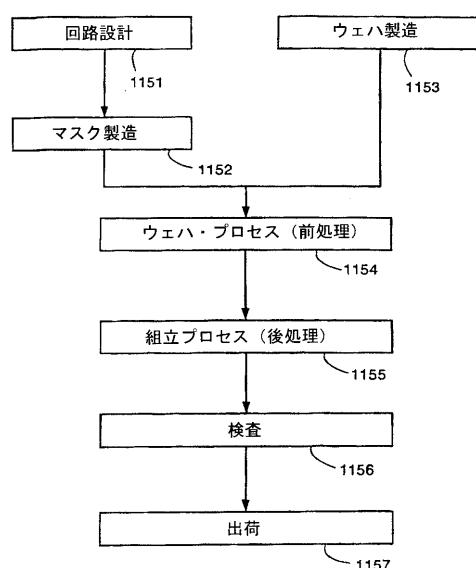
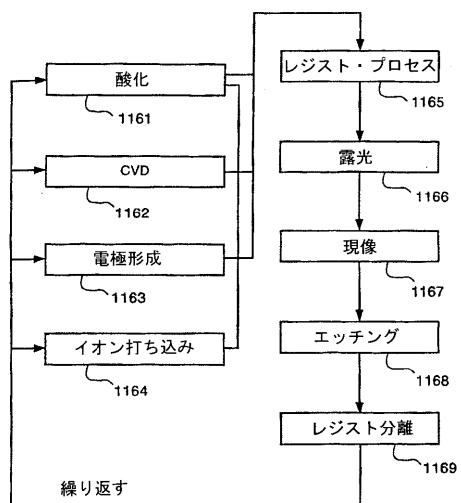


FIG. 10

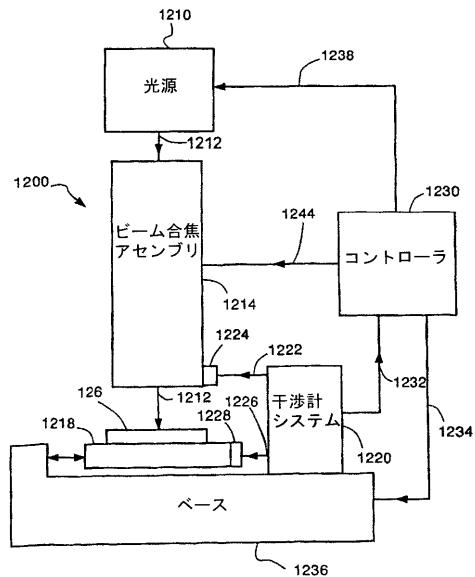
【図11a】



【 図 1 1 b 】



【 図 1 2 】



## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US03/14915						
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC(7) : G01B 9/02 US CL : 366/498 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC								
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 366/498, 500, 486, 487, 493								
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched								
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)								
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Category *</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">A</td> <td style="text-align: left; padding: 2px;">US 6,137,574 A (HILL) 24 October 2000 (24.10.2000), see column 14, lines 30+.</td> <td style="text-align: left; padding: 2px;">1-46</td> </tr> </tbody> </table>			Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	US 6,137,574 A (HILL) 24 October 2000 (24.10.2000), see column 14, lines 30+.	1-46
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.						
A	US 6,137,574 A (HILL) 24 October 2000 (24.10.2000), see column 14, lines 30+.	1-46						
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.								
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed								
Date of the actual completion of the international search <b>15 August 2003 (15.08.2003)</b>		Date of mailing of the international search report <b>27 OCT 2003</b>						
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703)305-3230		Authorized officer Samuel A. Turner <i>Dane Smyay</i> Telephone No. 703-308-0956						

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA, GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ, EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,M W,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

F ターム(参考) 2F064 AA03 AA06 AA15 BB01 DD02 DD08 DD09 EE01 EE10 FF01  
FF06 GG12 GG13 GG22 GG23 GG38 GG47 HH08 JJ01 JJ06  
2F065 AA02 AA06 AA09 AA20 AA37 BB01 BB25 CC17 CC21 DD11  
EE00 FF52 FF55 GG04 GG23 JJ03 LL12 LL36 LL37 PP12  
QQ25 RR05 RR09 UU05  
5F046 CC01 CC16