

(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2005-249794

(P2005-249794A)

(43) 公開日 平成17年9月15日(2005.9.15)

(51) Int.Cl.⁷

G01B 9/02

G03F 7/20

H01L 21/027

F I

G01B 9/02

G03F 7/20 521

H01L 21/30 514E

H01L 21/30 515D

テーマコード (参考)

2F064

5F046

審査請求 未請求 請求項の数 44 O L 外国語出願 (全 55 頁)

(21) 出願番号 特願2005-59253 (P2005-59253)

(22) 出願日 平成17年3月3日(2005.3.3)

(31) 優先権主張番号 60/550,206

(32) 優先日 平成16年3月3日(2004.3.3)

(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

ZYGO CORPORATION

アメリカ合衆国 コネチカット州 O64

55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 アンドリュウ エリック カールソン

アメリカ合衆国 O6441 コネチカッ

ト州 ヒガナム ソーン ウッド ロード

29

最終頁に続く

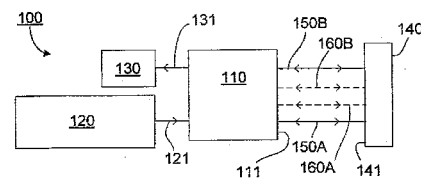
(54) 【発明の名称】 干渉計および干渉計を使用するシステム

(57) 【要約】

【課題】 2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を有する主アセンブリを含む干渉計を備えた装置を提供すること。

【解決手段】 一般的に、一態様においては、本発明は、2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を有する主アセンブリを含む干渉計を備える装置を特徴とする。界面は、2つの空間的に分離しているビームを受光し、これらビームをそれぞれが1つまたは複数の遠隔対象物に対して少なくとも2回通過するように向けるように配置されている。各界面は、少なくとも1回各ビームを反射し、また透過し、干渉計が、2つのビームが伝搬した経路間の光路長の差に関する情報を含む出力ビームを生成するために、1つまたは複数の遠隔対象物に少なくとも2回通過した後で、2つのビームを結合するように構成されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を有する主アセンブリを備える干渉計を備え、前記界面が、2つの空間的に分離しているビームを受光し、かつ、これらビームをそれぞれが1つまたは複数の遠隔対象物に対して少なくとも2回通過するような方向に向けるように配置され、

各界面が少なくとも1回各ビームを反射し、また透過し、前記干渉計が、前記2つのビームが伝搬した経路間の光路長の差に関する情報を有する出力ビームを発生するために、前記1つまたは複数の遠隔対象物に少なくとも2回通過した後で、前記2つのビームを結合するように構成される装置。

10

【請求項 2】

2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を有する入力アセンブリと、少なくとも1つの偏光ビーム・スプリッタ界面を有する主アセンブリと、を備え、

前記入力アセンブリ内の界面が、入力ビームから2つの空間的に分離しているビームを入手するように配置され、前記主アセンブリが、前記空間的に分離しているビームをそれぞれが1つまたは複数の遠隔対象物に対して少なくとも2回通過するような方向に向け、前記入力アセンブリが、前記2つのビームが伝搬した経路間の光路長の差に関する情報を有する出力ビームを発生するために、1つまたは複数の遠隔対象物に少なくとも2回通過した後で、前記2つのビームを結合する干渉計。

【請求項 3】

出力面を有する干渉計アセンブリを備え、前記干渉計アセンブリが、1つまたは複数の遠隔対象物に少なくとも2回通過するように、2つの空間的に分離しているビームを向けるように構成され、

前記空間的に分離しているビームが、前記1つまたは複数の遠隔対象物への各通過の際に、少なくとも1回は出力面と交差し、各交差の度に出力面に垂直な面が前記各ビーム経路に平行ではなく、前記干渉計アセンブリが、前記2つのビームが伝搬した経路間の光路長の差に関する情報を含む出力ビームを発生するために、前記1つまたは複数の遠隔対象物に少なくとも2回通過した後で、前記2つのビームを結合するように構成される装置。

20

【請求項 4】

入力ビームから前記空間的に分離しているビームを入手し、前記空間的に分離しているビームを前記主アセンブリの方に向けるように構成されている入力アセンブリをさらに備える、請求項1に記載の装置。

30

【請求項 5】

前記入力アセンブリが、前記空間的に分離しているビームが、前記入力アセンブリから出るとき、直交偏光を有するように構成される、請求項4に記載の装置。

【請求項 6】

前記入力アセンブリと前記主アセンブリとの間に波長板をさらに備え、前記波長板が、前記入力アセンブリと前記主アセンブリとの間を伝搬する場合に、前記空間的に分離しているビームの一方の偏光を回転するように構成される、請求項4に記載の装置。

【請求項 7】

前記波長板が高分子波長板である、請求項6に記載の装置。

40

【請求項 8】

前記入力アセンブリの出力面が、前記主アセンブリの入力面と光学的に結合している、請求項4に記載の装置。

【請求項 9】

前記入力アセンブリが、前記2つのビームを平行な経路に沿って前記主アセンブリの方向に向けるように構成される、請求項4に記載の装置。

【請求項 10】

前記入力アセンブリが、2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を有する、請求項4に記載の装置。

50

【請求項 1 1】

前記入力アセンブリの 2 つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面が平行である、請求項 1 0 に記載の装置。

【請求項 1 2】

前記入力アセンブリの 2 つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面が、前記主アセンブリの 2 つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面と平行でない、請求項 1 0 に記載の装置。

【請求項 1 3】

前記干渉計が、前記 2 つの空間的に分離しているビームが前記主アセンブリにより受光された場合、前記 2 つの空間的に分離しているビームが同じ偏光を有するように構成される、請求項 1 に記載の装置。 10

【請求項 1 4】

前記主アセンブリが、前記 1 つまたは複数の遠隔対象物に平行経路に沿って少なくとも 2 回通過するように、前記空間的に分離しているビームを向けるように構成される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 5】

さらに、各ビームが前記 1 つまたは複数の遠隔対象物へのその 1 回目の通過の後で、前記空間的に分離しているビームを前記主アセンブリの方向に送り返すように構成される逆リフレクタを備える、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 6】

前記干渉計が、前記空間的に分離している各ビームが前記 1 つまたは複数の遠隔対象物上の異なる場所に少なくとも 2 回通過するように構成される、請求項 1 に記載の装置。 20

【請求項 1 7】

前記横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面が平行である、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 8】

前記主アセンブリがモノリシックなものである、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 1 9】

前記空間的に分離しているビームが、少なくとも 1 回出力面と交差し、各交差点のところで前記出力面に垂直な面が各ビーム経路に平行でないように構成される出力面をさらに備える、請求項 1 に記載の装置。 30

【請求項 2 0】

各垂直面と前記各ビーム経路との間の角度が約 0.1 度以上である、請求項 1 9 に記載の装置。

【請求項 2 1】

各垂直面と前記各ビーム経路との間の角度が約 10 度以下である、請求項 1 9 に記載の装置。

【請求項 2 2】

前記出力アセンブリがウェッジを備える、請求項 1 9 に記載の装置。

【請求項 2 3】

前記主アセンブリと前記出力アセンブリとの間に位置する 1/4 波長板をさらに備える、請求項 1 9 に記載の装置。 40

【請求項 2 4】

前記 1/4 波長板が高分子 1/4 波長板である、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 2 5】

前記出力アセンブリが前記主アセンブリに光学的に結合する、請求項 1 9 に記載の装置。

【請求項 2 6】

前記出力ビームを受光するように配置されている検出装置をさらに備える、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 2 7】

前記干渉計が前記空間的に分離しているビームを入手する入力ビームを供給するように構成される放射線源をさらに備える、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 28】

前記 1 つまたは複数の遠隔対象物が反射素子からなる、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 29】

前記反射素子が平面ミラーである、請求項 28 に記載の装置。

【請求項 30】

前記反射素子が逆リフレクタである、請求項 28 に記載の装置。

【請求項 31】

請求項 1 に記載の装置を備える屈折計。

10

【請求項 32】

2 つの空間的に分離しているビームをそれぞれが 1 つまたは複数の遠隔対象物に対して少なくとも 2 回通過するように向けるための干渉計を使用するステップであって、前記干渉計が、前記 2 つのビームを受光するように配置されている 2 つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を備え、各界面が、各ビームを少なくとも 1 回反射し、また透過するステップと、

前記 2 つのビーム間の光路長の差に関する情報を含む出力ビームを発生するために、前記 1 つまたは複数の遠隔対象物に少なくとも 2 回通過した後で、2 つのビームを結合するステップとを含む方法。

【請求項 33】

20

ウェハ上に集積回路を製造するために使用するためのリソグラフィ・システムであって、前記システムが、

前記ウェハを支持するためのステージと、

前記ウェハ上に空間的にパターン化された放射線を画像形成するための照明システムと

、画像形成した放射線に対するステージの位置を調整するための位置決めシステムと、

請求項 1 に記載の装置を備える干渉計システムとを備え、前記干渉計システムが前記画像形成された放射線に対する前記ウェハの位置を監視するように構成されるリソグラフィ・システム。

【請求項 34】

30

ウェハ上に集積回路を製造するために使用するためのリソグラフィ・システムであって、前記システムが、

前記ウェハを支持するためのステージと、

放射線源、マスク、位置決めシステム、レンズ・アセンブリ、および請求項 1 に記載の装置を備える干渉計システムを含む照明システムとを備え、

動作中、前記放射線源が、空間的にパターン化された放射線を生成するために、前記マスクを通して放射線の方向づけを行い、前記位置決めシステムが、前記放射線源からの前記放射線に対する前記マスクの位置を調整し、前記レンズ・アセンブリが、前記空間的にパターン化された放射線を前記ウェハ上に画像形成し、前記干渉計システムが、前記放射線源からの前記放射線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。

40

【請求項 35】

リソグラフィ・マスクを製造するために使用するためのビーム書込みシステムであって、前記システムが、

基板をパターン化するために書込みビームを供給する放射線源と、

前記基板を支持するステージと、

前記基板に前記書込みビームを供給するためのビーム方向づけアセンブリと、

相互に前記ステージおよびビーム方向づけアセンブリを位置決めするための位置決めシステムと、

請求項 1 に記載の装置を備える干渉計システムとを備え、前記干渉計システムが前記ビーム方向づけアセンブリに対する前記ステージの位置を監視するように構成されるビーム

50

書込みシステム。

【請求項 36】

ウェハ上に集積回路を製造するために使用するためのリソグラフィ方法であって、前記方法が、

可動ステージ上にウェハを支持するステップと、

前記ウェハ上に空間的にパターン化された放射線を画像形成するステップと、

前記ステージの位置を調整するステップと、

請求項 1 に記載の装置を備える干渉計システムにより前記ステージの位置を監視するステップとを含む方法。

【請求項 37】

集積回路を製造するために使用するためのリソグラフィ方法であって、

空間的にパターン化された放射線を発生するために、マスクを通して入力放射線の方向づけを行うステップと、

前記入力放射線に対して前記マスクを位置決めするステップと、

請求項 1 に記載の装置を備える干渉計システムにより、前記入力放射線に対する前記マスクの位置を監視するステップと、

前記空間的にパターン化された放射線をウェハ上に画像形成するステップとを含むリソグラフィ方法。

【請求項 38】

ウェハ上に集積回路を製造するために使用するためのリソグラフィ方法であって、

前記ウェハを空間的にパターン化された放射線で露光するために、リソグラフィ・システムの第 2 の構成要素に対して、リソグラフィ・システムの第 1 の構成要素を位置決めするステップと、

請求項 1 に記載の装置を備える干渉計システムにより、前記第 2 の構成要素に対する前記第 1 の構成要素の位置を監視するステップとを含むリソグラフィ方法。

【請求項 39】

集積回路を製造するための方法であって、前記方法が請求項 36 に記載のリソグラフィ方法を含む方法。

【請求項 40】

集積回路を製造するための方法であって、前記方法が請求項 37 に記載のリソグラフィ方法を含む方法。

【請求項 41】

集積回路を製造するための方法であって、前記方法が請求項 38 に記載のリソグラフィ方法を含む方法。

【請求項 42】

集積回路を製造するための方法であって、前記方法が請求項 35 に記載のリソグラフィ・システムを使用するステップを含む方法。

【請求項 43】

集積回路を製造するための方法であって、前記方法が請求項 36 に記載のリソグラフィ・システムを使用するステップを含む方法。

【請求項 44】

リソグラフィ・マスクを製造するための方法であって、前記方法が

書込みビームを基板に照射して前記基板をパターン化するステップと、

前記書込みビームに対して前記基板を位置決めするステップと、

請求項 1 に記載の装置を備える干渉計システムにより、前記書込みビームに対する前記基板の位置を監視するステップとを含む方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、リソグラフィ・スキャナまたはステッパ・システムで、マスク・ス

10

20

30

40

50

テージまたはウェハ・ステージのような測定対象物の角度変位および直線変位を測定するための変位測定および分散干渉計、およびガスの波長を監視し、固有特性（例えば、ガスの屈折率または屈折率の変化）を測定するための干渉計に関する。

【背景技術】

【0002】

変位測定干渉計は、光学干渉信号に基づいて、基準対象物に対する測定対象物の位置の変化を監視する。この干渉計は、基準対象物から反射した基準ビームに測定対象物から反射した測定ビームを重ね、干渉させることにより光学干渉信号を生成する。

【0003】

多くの用途において、測定ビームおよび干渉ビームは、直交偏光およびいくつかの周波数を含む。いくつかの周波数は、例えば、レーザ・ゼーマン分割、音響光学変調、または複屈折素子等を使用するレーザの内部で生成することができる。直交偏光により、偏光ビーム・スプリッタは、それぞれ測定ビームおよび基準ビームを測定対象物および基準対象物の方向に向けることができ、反射した測定ビームおよび基準ビームを結合して、重なり出口測定ビームおよび基準ビームを形成することができる。重なり出口ビームは、後で偏光装置を通過する出力ビームを形成する。偏光装置は、出口測定ビームと基準ビームの偏光を混合して混合ビームを形成する。混合ビーム内の出口測定ビームおよび基準ビームの成分は相互に干渉し、そのため混合ビームの輝度は、出口測定ビームおよび基準ビームの相対位相により変化する。検出装置は、混合ビームの時間依存輝度を測定し、この輝度に比例する電気干渉信号を発生する。測定ビームおよび基準ビームは、いくつかの周波数を有しているので、電気干渉信号は、出口測定ビームの周波数と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。測定経路の長さおよび基準経路の長さが、例えば、測定対象物を含むステージの並進により相互に変化する場合には、測定したビート周波数は $2 v n p / \lambda$ に等しいドップラー・シフトを含む。ここで、 v は測定対象物および基準対象物の相対速度であり、 λ は測定ビームおよび基準ビームの波長であり、 n は、例えば、空気または真空のような光ビームが伝搬する媒体の屈折率であり、 p は基準対象物および測定対象物への通過の数である。測定対象物の相対位置の変化は、測定した干渉信号の位相の変化に対応する。ここで、 2π の位相の変化は $\lambda / (n p)$ の L の距離の変化にほぼ等しい。この場合、 L は、例えば、測定対象物を含むステージへのまたからの距離の変化のような往復の距離の変化である。

【特許文献1】米国特許第6, 529, 279号

【特許文献2】米国特許第5, 483, 343号

【非特許文献1】1998年発行のApplied Optics 37号の6696～6700ページ掲載の、C. W. WuおよびR. D. Deslattesの「ヘテロダイン干渉法における周期的非直線性の分析的モデル化」(Analytical modeling of the periodic nonlinearity in heterodyne interferometry)という論文

【非特許文献2】半導体産業ロードマップ(1997年版)の82ページ記載の記事

【非特許文献3】1998年、ニューヨーク所在のMarcel Dekker社発行のJ. R. SheatsおよびB. W. Smithの「マイクロリソグラフィ：科学および技術」(Microlithography: Science and Technology)という記事

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

都合の悪いことに、この対応状態はいつでも正確なわけではない。多くの干渉計は、「巡回誤差」と呼ばれる非直線性を含む。巡回誤差は、測定した干渉信号の位相および／または輝度への影響として表すことができ、光路長 $p n L$ の変化に関連する位相の変化、および／または他のパラメータに関連する位相の変化に正弦波的に依存する。例えば、 $(2 \pi p n L) / \lambda$ に正弦波的に依存する位相には第1高調波巡回誤差があるし、 $2 (2 \pi p$

nL) / λ に正弦波的に依存する位相には第 2 高調波巡回誤差がある。高い高調波および部分巡回誤差も存在する。

【0005】

巡回誤差は「ビーム混合」により発生することができる。この場合、基準ビームを名目的に形成する入力ビームの一部は測定経路に沿って伝搬し、および／または測定ビームを名目的に形成する入力ビームの一部は、干渉経路に沿って伝搬する。このようなビーム混合は、入力ビームの偏光状態に対する干渉計の整合のずれ、干渉計の光学部品の複屈折、および例えば、各基準経路および測定経路に沿った方向に直交偏光入力ビームを向けるために使用する偏光ビーム・スプリッタの欠陥のような干渉計の光学部品の欠陥により起こる場合がある。ビーム混合および結果としての巡回誤差により、測定した干渉信号の位相の変化と、基準経路および測定経路の間の相対光路長 $p n L$ との間には、厳密な線形関係はない。補償しない場合には、ビーム混合による巡回誤差により、干渉計で測定した距離の変化の精度が制限される恐れがある。巡回誤差も、干渉計で望ましくない多重反射を起こす透過面の欠陥、干渉計でビーム内で偏光面の望ましくない楕円および望ましくない回転を生じる逆リフレクタおよび／または位相遅延板のような構成要素の欠陥により発生する場合がある。巡回誤差の理論的原因の一般的情報については、例えば、1998 年発行の *Applied Optics* 37 号の 6696～6700 ページ掲載の、C. W. Wu および R. D. Deslattes の「ヘテロダイン干渉法における周期的非直線性の分析的モデル化」(*Analytical modelling of the periodic nonlinearity in heterodyne interferometry*) を参照されたい。

【0006】

分散測定用途の場合には、光路長の測定は、例えば、532 nm および 1064 nm のような多重波長で行い、距離測定干渉計の測定経路内のガスの分散を測定するために使用される。分散測定は、距離測定干渉計により測定した光路長を物理長に変換するために使用することができる。このような変換が重要な場合がある。何故なら、測定した光路長の変化は、測定対象物への物理的距離が変化しなくても、ガス・タービュランスおよび／または測定アーム内のガスの平均密度の変化により起こる場合があるからである。外因性分散測定の他に、光路長を物理長に変換するには、ガスの固有値を知っていなければならない。係数 Γ は適当な固有値であり、分散干渉計による測定の際に使用した波長に対するガスの逆分散力である。係数 Γ は、文献の値とは無関係に、またはこのような値に基づいて測定することができる。干渉計の巡回誤差も、分散測定および係数 Γ の測定に影響を与える。さらに、巡回誤差は、ビームの波長を測定するためにおよび／または監視するために使用する干渉計による測定を劣化する恐れがある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

一般的に、ある態様においては、本発明は、2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を有する主アセンブリを含む干渉計を含む装置を特徴とする。上記界面は、2つの空間的に分離しているビームを受光し、これらビームをそれぞれが1つまたは複数の遠隔対象物に対して少なくとも2回通過するような方向に向けるように配置されている。各界面は、少なくとも1回各ビームを反射し、また透過し、干渉計は、2つのビームが伝搬した経路間の光路長の差に関する情報を含む出力ビームを発生するために、1つまたは複数の遠隔対象物へ少なくとも2回通過した後で2つのビームを結合するように構成されている。

【0008】

一般的に、もう1つの態様においては、本発明は、2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を有する入力アセンブリを含む干渉計と、少なくとも1つの偏光ビーム・スプリッタ界面を含む主アセンブリとを特徴とする。この場合、入力アセンブリ内の界面は、入力ビームから2つの空間的に分離しているビームを入手するように配置されていて、主アセンブリは、空間的に分離しているビームをそれぞれが1つまたは複数の遠

隔対象物に少なくとも2回通過するような方向に向ける。入力アセンブリは、2つのビームが伝搬した経路間の光路長の差に関する情報を含んでいる出力ビームを形成するために、1つまたは複数の遠隔対象物へ少なくとも2回通過した後で、2つのビームを結合する。

【0009】

一般的に、もう1つの態様においては、本発明は、出力面を含む干渉計アセンブリを含む装置を特徴とする。この干渉計アセンブリは、2つの空間的に分離しているビームを1つまたは複数の遠隔対象物に少なくとも2回通過するような方向に向けるように構成されている。この場合、空間的に分離しているビームは、1つまたは複数の遠隔対象物に通過する度に、少なくとも1回は出力面と交差し、各交差の度に出力面に垂直な面は各ビーム経路に平行ではなく、干渉計アセンブリは、2つのビームが伝搬した経路間の光路長の差に関する情報を含む出力ビームを発生するために、1つまたは複数の遠隔対象物に少なくとも2回通過した後で、これら2つのビームを結合する。

10

【0010】

上記装置および／または干渉計のいくつかの実施形態は、下記の機能のうちの1つ以上を含むことができる。この装置は、入力ビームから空間的に分離しているビームを入手し、空間的に分離しているビームを主アセンブリの方に向けるように構成されている入力アセンブリを含むことができる。入力アセンブリは、入力アセンブリから出る場合、空間的に分離しているビームが直交偏光されるように構成することができる。この装置は、入力アセンブリと主アセンブリとの間に波長板を含むことができる。波長板は、入力アセンブリと主アセンブリとの間を伝搬する際に、空間的に分離しているビームのうちの一方の偏光を回転するように構成されている。波長板は、高分子波長板であってもよい。

20

【0011】

入力アセンブリの出力面を主アセンブリの入力面と光学的に結合することができる。入力アセンブリは、2つのビームを平行な経路に沿って主アセンブリの方に向けるように構成することができる。入力アセンブリは、2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を含むことができる。入力アセンブリの2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面は、平行にすることができる。入力アセンブリの2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面は、主アセンブリの2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面に対して平行でなくてもよい。

30

【0012】

干渉計は、2つの空間的に分離しているビームが主アセンブリにより受光された場合に、同じ偏光を受けるように構成することができる。主アセンブリは、1つまたは複数の遠隔対象物に平行経路に沿って少なくとも2回通過するように、空間的に分離しているビームを向けるように構成することができる。この装置は、各ビームが1つまたは複数の遠隔対象物へのその1回目の通過を行った後で、空間的に分離しているビームを主アセンブリの方に戻送するように構成された逆リフレクタを含むことができる。干渉計は、空間的に分離している各ビームが、1つまたは複数の遠隔対象物上の異なる場所に少なくとも2回通過するように構成することができる。横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面は、平行にすることもできる。主アセンブリはモノリシックなものであってもよい。この装置は、空間的に分離しているビームが少なくとも1回出力面と交差し、各交差のところで出力面に垂直な面は、各ビーム経路と平行でなくともよいように構成された出力面を含むことができる。各垂直面と各ビーム経路との間の角度は、約0.1度以上であってもよい。各垂直面と各ビーム経路との間の角度は、約10度以下であってもよい。出力アセンブリはウェッジを備えることができる。この装置は、主アセンブリと出力アセンブリとの間に位置する1/4波長板を含むことができる。1/4波長板は、高分子1/4波長板であってもよい。出力アセンブリは、主アセンブリに光学的に結合することができる。

40

【0013】

この装置は、出力ビームを受光するように配置されている検出装置を含むことができる。この装置は、干渉計が空間的に分離しているビームを入手する入力ビームを供給するよ

50

うに構成されている放射線源を含むことができる。1つまたは複数の遠隔対象物は反射素子を含むことができる。反射素子は平面ミラーであっても、または逆リフレクタであってもよい。

【0014】

他の態様においては、本発明は、上記装置を含む屈折計を特徴とする。

一般的に、他の態様においては、本発明は、2つの空間的に分離しているビームをそれぞれ1つまたは複数の遠隔対象物に少なくとも2回通過するような方向に向けるための干渉計を使用するステップを含む方法の特徴とする。この場合、干渉計は、2つのビームを受光するように配置されている2つの横方向に変位している偏光ビーム・スプリッタ界面を含み、各界面は、各ビームを少なくとも1回反射し、また透過し、2つのビーム間の光路長の差に関する情報を含む出力ビームを発生するために、1つまたは複数の遠隔対象物へ少なくとも2回通過した後で、2つのビームを結合する。

10

【0015】

他の態様においては、本発明は、ウェハ上に集積回路を製造する際に使用するためのリソグラフィ・システムを特徴とする。このシステムは、ウェハを支持するためのステージと、ウェハ上に空間的にパターン化された放射線を画像形成するための照明システムと、画像形成した放射線に対するステージの位置を調整するための位置決めシステムと、上記装置を含む干渉計システムとを含む。この干渉計システムは、画像形成された放射線に対するウェハの位置を監視するように構成されている。

【0016】

他の態様においては、本発明は、ウェハ上に集積回路を製造する際に使用するためのリソグラフィ・システムを特徴とする。このシステムは、ウェハを支持するためのステージと、放射線源、マスク、位置決めシステム、レンズ・アセンブリ、および上記装置を含む干渉計システムを含む照明システムとを含む。この場合、動作中、放射線源は、空間的にパターン化された放射線を生成するために、マスクを通して放射線を方向づけ、位置決めシステムは、放射線源からの放射線に対するマスクの位置を調整し、レンズ・アセンブリは、空間的にパターン化された放射線をウェハ上に画像形成し、干渉計システムは、放射線源からの放射線に対するマスクの位置を監視する。

20

【0017】

他の態様においては、本発明は、リソグラフィ・マスクを製造する際に使用するためのビーム書込みシステムを特徴とする。このシステムは、基板をパターン化するために書込みビームを供給する放射線源と、基板を支持するためのステージと、基板に書込みビームを供給するためのビーム方向づけアセンブリと、相互にステージおよびビーム方向づけアセンブリを位置決めするための位置決めシステムと、上記装置を含む干渉計システムとを含む。干渉計システムは、ビーム方向づけアセンブリに対するステージの位置を監視するように構成されている。

30

【0018】

一般的に、他の態様においては、本発明は、ウェハ上に集積回路を製造する際に使用するためのリソグラフィ方法の特徴とする。この方法は、可動ステージ上にウェハを支持するステップと、ウェハ上に空間的にパターン化された放射線を画像形成するステップと、ステージの位置を調整するステップと、上記装置を含む干渉計システムによりステージの位置を監視するステップとを含む。

40

【0019】

他の態様においては、本発明は、空間的にパターン化された放射線を発生するために、入力放射線をマスクを通して方向づけるステップと、入力放射線に対してマスクを位置決めするステップと、上記装置を含む干渉計システムにより入力放射線に対するマスクの位置を監視するステップと、空間的にパターン化された放射線をウェハ上に画像形成するステップとを含む集積回路を製造する際に使用するためのリソグラフィ方法の特徴とする。

【0020】

他の態様においては、本発明は、ウェハを空間的にパターン化された放射線で露光する

50

ために、リソグラフィ・システムの第2の構成要素に対して、リソグラフィ・システムの第1の構成要素を位置決めするステップと、上記装置を含む干渉計システムにより、第2の構成要素に対する第1の構成要素の位置を監視するステップとを含むウェハ上に集積回路を製造する際に使用するためのリソグラフィ方法の特徴とする。

【0021】

他の態様においては、本発明は、集積回路を製造するための方法の特徴とする。この方法は上記リソグラフィ方法を含む。

他の態様においては、本発明は、基板をパターン化するために基板に書込みビームを向けるステップと、書込みビームに対して基板を位置決めするステップと、上記装置を含む干渉計システムにより書込みビームに対する基板の位置を監視するステップとを含むリソグラフィ・マスクを製造するための方法の特徴とする。

10

【0022】

実施形態は、巡回誤差が少ない測定を行う差動平面ミラー干渉計(DPMI)を含む。巡回誤差は、DPMIアセンブリ内の空気／ガラス界面の数を少なくすることにより低減することができ、それにより巡回誤差を起こす恐れがある各界面からのスプリアス反射の輝度が低減する。空気／ガラス界面の数は、モノリシック干渉計アセンブリを提供することにより低減することができる。モノリシック・アセンブリは、また、個々の構成要素を含むアセンブリと比較した場合、機械的に安定した構造体を提供することができる。さらに、モノリシック・アセンブリは、個々の構成要素から形成されているアセンブリより小形であり、アセンブリの光学部品と一緒に固定するために必要な機械支持部品(例えば、マウントおよびファスナ)の数を低減することができる。構成要素の数が少なくなると、干渉計アセンブリのコストを低減することができる。

20

【0023】

空気／ガラス界面からのスプリアス反射の影響は、また、面を横切るビームの経路に対して直交方向を向いていない界面を供給することにより低減することができる。このような構造は、干渉計アセンブリの場合、ウェッジを使用することにより達成することができる。実施形態は、また、測定ビームの経路に対して垂直方向を向いていない出力面を有するDPMIを含む。例えば、ある実施形態の場合には、干渉計アセンブリは、主干渉計アセンブリと測定対象物との間に位置するウェッジを含むことができる。ウェッジは、主アセンブリと光学的に結合することができる。

30

【0024】

巡回誤差は、また、出力ビームの構成要素の「漏洩」偏光の量を少なくすることにより低減することができる。偏光ビーム・スプリッタ(PBS)を使用する理想的な干渉計は、入力ビームを2つの直交偏光成分に分割する。この場合、各成分は100%偏光している。実際には、入力ビームを直交直線偏光ビームに分割するのに使用するPBSは完全な偏光装置ではなく、偏光装置から出ていくビームは所望の偏光状態に直交する少量の「漏洩」偏光を含む。しかし、干渉計システム内で漏洩偏光が検出装置に達する量は、各ビームの経路内に追加の偏光ビーム・スプリッタを設置することにより低減することができる。PBSを通るビームの各追加の通過および／またはPBSを通るビームの各追加の通過の影響は、出力ビーム内の漏洩偏光の量を低減し、関連する巡回誤差を低減する。

40

【0025】

ある実施形態の場合には、ファセット縁部および／または光学部品の頂点での反射からの波面ひずみによる干渉計の測定値の誤差を低減することができる。例えば、1つのPBS界面を干渉計の主アセンブリ内の2つの横方向に変位しているPBS界面で置き換えることにより、逆リフレクタが反射したビームが、測定対象物の向きの範囲のためのファセット縁部ではなく、ファセットから反射するように、十分大きな逆リフレクタを選択する柔軟性を提供することができる。

【0026】

本明細書に記載したDPMIを屈折計で使用すれば、その測定精度を改善することができる。屈折計は、正確な変位測定を行うために変位測定干渉計で使用するこ

50

別の方法としてまたは追加として、本明細書に記載したDPMIは、カラム基準と干渉計から遠くに位置するもう1つの測定対象物間の相対位置の変動を監視するために、カラム基準と一緒に使用することができる。さらに、本明細書に記載した干渉計システムおよび方法は、正確な測定を行ったり、またマイクロリソグラフィおよびビーム書込みシステムでの位置決め測定を行うために使用することができる。

【0027】

ビーム、ビーム経路、界面および／または平行または名目的に平行といわれる軸は、測定上のずれの影響が無視できる程度であれば、完全に平行でなくてもよい（例えば、必要な測定精度よりある程度だけ低いというように）、または別の方法で補償される。

【0028】

本発明の他の特徴、目的および利点は、下記の詳細な説明、図面および特許請求の範囲を読めば理解することができるだろう。

種々の図面内の類似の参照符号は、類似の要素を示す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

図1について説明すると、干渉計システム100は、DPMI110と、放射線源120と、検出装置130とを含む。放射線源は、入力ビーム121をDPMI110の方に向け、DPMI110は入力ビーム121からの2つのビームを入手し、DPMI110から離れている平面ミラー140の表面141から反射するように、DPMI110からの2つのビームを出力面111を通して方向づける。異なる経路に沿って毎回各ビームは、ミラー140に対して2回通過する。図1に示すように、2つのビームのうちの第1のビームは、1回目の通過150Aを行い、ミラーへ2回目の通過150Bを行う。第2のビームは1回目の通過160Aを行い、ミラー140に対して2回目の通過160Bを行う。ビームがミラー140に通過した後で、DPMI110は、出力ビーム131を形成するためにビームを重ねる。この出力ビームは検出装置130のところで検出される。出力ビーム131は、第1および第2のビームの間の光路長の差に関連する干渉計による位相を含む。

【0030】

図2A、図2B、図3Aおよび図3Bは、DPMI、DPMI200の一例を示す。図2Aおよび図2Bは、それぞれ、垂直方向に偏光した入力ビーム230の経路に対する干渉計200の平面図および側面図である（垂直方向という用語は、図2Aおよび図3Aのページの面に直交する方向を意味する）。図3Aおよび図3Bは、それぞれ図2Aおよび図2Bと同じ図面であるが、水平方向に偏光した入力ビーム250の経路を示す。ヘテロダイン検出スキームの場合には、図2Aおよび図2Bのビーム経路は、図3Aおよび図3Bのビーム経路に関するいくつかの周波数ビームの軌跡である。

【0031】

動作中、DPMI200は、入力ビームを方向づけ、垂直方向および水平方向に偏光した成分ビームに分割し、出力ビームを形成するために成分ビームを重ねる前に、平面ミラー240の表面241から2回反射するように、両方の成分ビームを異なる経路に沿った方向に向ける。DPMI200の構成要素およびDPMIを通る各ビームの経路については以下に説明する。

【0032】

干渉計200は、入力アセンブリ220および主アセンブリ210を含む。入力アセンブリ220は、2つの偏光ビーム・スプリッタ（PBS）界面、界面220および界面221を含む。これらの界面は、横方向にずれていて、相互に平行である。1／2波長板（例えば、高分子1／2波長板）223が、入力アセンブリ220および主アセンブリ210の間に、界面221に隣接して位置する。1／2波長板223は、界面222に隣接して延びない。主アセンブリ210は、2つのPBS界面211および212を含む。界面211および212は、また、横方向にずれていて、相互に平行になっている。界面211および212は、界面221および222とは平行ではない。主アセンブリ215は、

10

20

30

40

50

また、コーナー・キューブ逆リフレクタ (corner cube retroreflector) 215 およびウェッジ角 x を有するウェッジ 218 を含む。ウェッジ 218 の出力面 219 は、平面ミラー 140 の方を向いて配置されている。

【0033】

動作中、経路 230 に沿った方向に向けられた直交方向に偏光された入力ビーム成分は、界面 221 に隣接する入力アセンブリ 220 上に入射する。界面 221 のところで、いくつかの経路に沿って直交方向に偏光した成分は、垂直方向に偏光した成分を経路 231 A に沿って主アセンブリ 210 の方向に送り、水平方向に偏光した成分を経路 251 A に沿って界面 222 の方向に反射する。

【0034】

特に図 2 A および図 2 B について説明すると、波長板 223 は、経路 231 A に沿って伝搬する垂直方向に偏光した成分を 90 度回転させる。界面 211 は、このビーム 231 A を透過し、このビームは、経路 231 B に沿って出力面 219 を通して DPMI 200 から出て、ミラー 240 の面 241 から反射する。1/4 波長板 213 を通してビームが 2 回通過すると、ビームの偏光が 90 度回転する。それ故、ビームが界面 211 に戻ると、このビームは垂直方向に偏光されていて、経路 231 C に沿ってこの界面により反射する。ビームは、界面 211 から逆リフレクタ 215 の方向に反射され、この逆リフレクタはビームを界面 212 の方向に向ける。界面 211 および逆リフレクタ 215 の反射面は、入力および出力ビーム成分 230 および 232 が形成する平面の下の水平面の方向にビームを向ける方向を向いていることに留意されたい。さらに、界面 212 は、垂直方向に偏光した光を反射するように構成され、経路 231 D に沿ってミラー 240 の方向に向け元の方向にビームを反射する。ビームは経路 231 E に沿って DPMI 200 から出て、ミラー 240 から反射し、ビーム経路 231 D に沿って DPMI に再度入る。経路 231 E は、経路 231 B に平行であることに留意されたい。ビームが主アセンブリ内に再度入ると、1/4 波長板 213 を 2 回透過した後で、水平方向に偏光する。この偏光により、ビームは界面 212 を透過し、入力アセンブリ 220 に再度入る。水平方向に偏光したビームは、経路 231 F に沿って界面 222 から界面 221 の方向に反射する。経路 232 に沿って水平方向に偏光したビームは入力アセンブリから出る。

【0035】

図 3 A および図 3 B について説明すると、入力ビームの水平方向に偏光した成分は、経路 251 A に沿って界面 221 から界面 222 の方向に反射する。このビームは、界面 222 から反射し、経路 251 B に沿って主アセンブリ 210 に入る。界面 222 に隣接するスペーサ 224 は、その偏光状態を回転させないでビームを透過する。そのため、ビームが主アセンブリ 210 に入る場合、ビームは水平方向に偏光したままである。スペーサは、1/2 波長板 223 と同じ厚さの光学的に等方性の構成要素であってもよい。別の方法としては、スペーサ 224 は、その主軸が垂直方向または水平方向を向いている 1/2 波長板であってもよい。界面 211 は、ビームを透過し、このビームは出力面 219 を通して DPMI 200 から出て、経路 251 C に沿って伝搬し、ミラー 240 から反射する。反射したビームは、同じ経路に沿って DPMI 200 に再度入り、1/4 波長板 213 を 2 回通過したために、偏光状態が 90 度回転した後で界面 211 から反射する。界面 211 は、経路 251 D に沿ってビームを界面 212 の方向に向ける。界面 212 は、経路 251 E に沿って、ビームをビーム経路 230 および 232 が形成する水平面内の元の方向に送り返す。次に、ビームは、経路 251 F に沿ったミラー 240 への 2 回目の通過の際に、出力面 219 を通して DPMI 200 から出る。ミラー 240 から反射した時に、ビームは 1/4 波長板 213 を 2 回通過したために、偏光状態が 90 度回転した状態で再度 DPMI 200 に入る。この時点で垂直方向に偏光された後で、ビームは、PBS 界面 212 を透過し、PBS 界面 221 へ経路 251 G に沿って伝搬し、経路 232 に沿って DPMI 200 を出る。この場合、このビームは他の成分と重なり、干渉計出力ビームを形成する。ビーム経路 251 C および 251 F は平行であり、ビーム経路 231 B および 231 E とともに平行であることに留意されたい。

10

20

30

40

50

【0036】

一般的に、ウェッジ角 x は、必要に応じて変えることができる。図 2 A および図 3 A に示すように、ウェッジ角 x は、ビーム経路 231 B、231 E、251 C および 251 が、出力面 219 に垂直な方向に平行にならないように選択することができる。 x は、透過ビームに対応する成分ビームが干渉計の出力ビーム内の DPMI 200 から出た場合に、透過ビームを含む出力面 219 のところで反射したゴースト・ビームの任意の部分の重なりを低減できるような（例えば、除去するような）十分大きなものにすることができる。出力面 319 のような面からスプリアス反射したビームの一部との出力ビーム成分の重なりを少なくすると、DPMI 200 により行った測定の誤差（例えば、巡回誤差）を低減することができる。

10

【0037】

出力面で反射したビームと出力ビームとの重なりは、ウェッジ角 x 、ビームの直径、出力面 319 から出力ビームを監視するために使用する検出装置へのビーム経路の長さに依存する。それ故、比較的大きな直径のビームおよび／または出力面 319 から検出装置へのビーム経路が比較的短い干渉計の場合には、この重なりを低減するためにウェッジ角を大きくすることができる。ある実施形態の場合には、 x は約 0.1 度以上（例えば、約 0.5 度以上、約 1 度以上）にすることができる。通常、 x は約 10 度以下である。ある実施形態の場合には、 x は約 3 度である。別の例について説明すると、ある実施形態の場合にはウェッジ角は 0 度である。

【0038】

20

1 つまたは複数の光学面（すなわち、1 つまたは複数のビームの経路内に位置する構成要素の面）には、反射防止コーティングを行うことができる。例えば、入力面 225 および／または出力面 219 は、反射防止コーティングを含むことができる。反射防止コーティングは、面からの入射ビームのスプリアス反射を低減することができ、それにより DPMI 200 による測定内の誤差（例えば、巡回誤差）を低減することができる。

【0039】

ある実施形態の場合には、入力アセンブリ 220 は、対向面上に PBS コーティングを含む菱形のプリズムにより形成される。モノリシック長方形アセンブリを形成するために、直角プリズムをコーティング面に接着させることができる。

【0040】

30

主アセンブリ 220 は、PBS コーティングを塗布することができる対向面を平行にするために、材料（例えば、ガラス）の長方形または立方体ブロックの対向する隅を研磨または割ることにより形成することができる。面のサイズは、アセンブリで使用するキューブ・コーナー逆リフレクタ（cube corner retroreflector）のサイズに基づいて選択することができる。モノリシックな長方形のアセンブリを形成するために、四角錐状のプリズムを逆リフレクタを取り付けることができるコーティング面に接着させることができる。

【0041】

主アセンブリ 210 および入力アセンブリ 220 は、一緒におよび他の構成要素に接着されていて、そのため DPMI 200 はモノリシック・アセンブリである。この場合、隣接する構成要素間の光学的界面は相互に光学的に結合している。構成要素間の光結合は、光学的接着剤またはインデックス整合流体により行うことができる。複屈折フィルムをリターダ（例えば、半波長リターダ 223 および／または 1/4 波長板 213 に対する）として使用しても、モノリシック・アセンブリを容易に形成することができる。何故なら、これらのフィルムは、他の構成要素の間で容易に積層することができるからである。隣接構成要素を光学的に結合すると、構成要素の界面からのスプリアス反射を低減することができ、DPMI 200 による測定内の誤差（例えば、巡回誤差）を低減することができる。

40

【0042】

DPMI 200 はモノリシックな構造体であるが、ある実施形態の場合には、DPMI

50

の1つまたは複数の構成要素を他の構成要素に光学的に結合する必要はない。例えば、図4A、図4B、図5Aおよび図5Bについて説明すると、ある実施形態の場合には、DPMI 400は、モノリシックな入力アセンブリ／主アセンブリ構造体から独立している個々のアセンブリ401を含むことができる。ある実施形態の場合には、アセンブリ401を、基準凹部内のウィンドウとして使用することができる。アセンブリ401は、光学的平面414およびウェッジ412の間にサンドイッチ状に挟まれている1／4波長板410（例えば、高分子1／4波長板）を含む。ウェッジ412の暴露面413は、DPMI 400用の出力面でありミラー240の方を向いている。

【0043】

主アセンブリ210の暴露面420、光学的平面414の暴露面415、および暴露面413は、すべて干渉計の入力および出力ビームの経路に直角でない方向を向いていて、それにより干渉計の検出装置のところのこれらの面からのスプリアス反射を低減する。図に示すように、ウェッジ412の角度は y であり、干渉計の入力ビームおよび出力ビームに直角な面からの面420の角度のずれは γ である。ある実施形態の場合には、 y は約0.1度以上（例えば、約0.5度以上、約1度以上）であってもよい。通常、 y は約10度以下である。ある実施形態の場合には、 γ は約0.1度以上（例えば、約0.5度以上、約1度以上）であり、約10度未満である。さらに、1つまたは複数の面413、415および420は、反射防止コーティングを含むことができる。面415と面420との間の角度のずれは z であり、同様に変えることができる。ある実施形態の場合には、 z は約0.5度以上（例えば、約1.0度以上、約1.5度以上、約2度以上）である。別の方法について説明すると、ある実施形態の場合には、面415および面420は平行である（すなわち、 z は0である）。

【0044】

x 、 y 、 z および γ は、垂直軸を中心とする方位角度変位成分を表し、一般的に、面は、他の軸（例えば、水平軸）に対して角度変位である方向を向くことができる。一般的に、 y 、 z および／または γ は、平行な軸または平行でない軸を中心にした角度変位であってもよい。例えば、ある実施形態の場合には、 y は垂直軸を中心とする角度変位であってもよく、一方 z は水平軸を中心とする鉛直変位であってもよい。

【0045】

一般的に、上記のようなDPMIは、種々の用途に使用することができる。例えば、ある実施形態の場合には、DPMIは、屈折計で使用するすることができる。図6Aについて説明すると、ある実施形態の場合には、図1の干渉計システム100は、周囲の屈折度の変動を監視する屈折計として使用するために適応させることができる。この例の場合には、2つのビームのうち的一方（すなわち、ビームの通過160Aおよび160Bに対応するビーム）を、制御環境（例えば、真空）を有するチャンバ170内に閉じ込めることができる。ミラー140がDPMI 110に対して機械的に固定されている場合には、出力ビーム131の位相の変動を、ビームの経路150Aおよび150B内の大気屈折度の変動によるものとすることができる。例えば、「干渉計および空気の屈折率および光路長の影響を測定するための方法」（INTERFEROMETER AND METHOD FOR MEASURING THE REFRACTIVE INDEX AND OPTICAL PATH LENGTH EFFECTS OF AIR）という名称の米国特許第6,529,279号に、干渉計的屈折計の例が開示されている。上記特許の全文は参照により本明細書に組み込むものとする。

【0046】

上記実施形態においては、両方の干渉計ビームは、同じミラーから反射するが、ある実施形態の場合には、ビームはいくつかの対象物から反射することができる。例えば、図6Bについて説明すると、ある実施形態の場合には、経路150Aおよび150Bに沿った1つのビームは、第1のミラー610から反射することができ、一方、経路660Aおよび660Bに沿った他のビームは、異なるミラー620から反射する。経路150A、150B、660Aおよび660Bは平行であり、第1のミラー610は、それぞれ経路6

60Aおよび660Bに対応するアパーチャ611および612を含む。それ故、経路660Aおよび660Bに沿って伝搬するビームは、第1のミラー610から反射するのではなく、アパーチャ611および612を通過する。この構成の場合、干渉位相はミラー610とミラー620の間の相対位置の変動に対応する。

【0047】

一般的に、DPMIは、以下に説明するカラム基準の場合のような2つの対象物間の変位の変動を監視するために他の用途に使用することができる。

上記干渉計システムは、他の干渉計システムと比較した場合、低い巡回誤差で測定を行うことができる。このようなシステムは、コンピュータ・チップなどのような大規模集積回路を製造する際に使用するリソグラフィ用途の場合に特に役に立つ場合がある。リソグラフィは、半導体製造業界における非常に重要な技術推進者である。オーバーレイの改善は、100nmまたはそれ以下のライン幅（デザイン・ルール）への5つの最も難しい難問の中の1つである。例えば、半導体産業ロードマップ（1997年版）の82ページを参照されたい。

【0048】

オーバーレイは、ウェハおよびレチクル（またはマスク）ステージの位置決めに使用する距離測定干渉計の性能、すなわち、精度および確度に直接依存する。リソグラフィ・ツールは、50～100Mドル／年の製品を製造することができるので、性能が改善された距離測定干渉計の経済的価値は大きい。リソグラフィ・ツールの歩留まりが1%向上すると、集積回路メーカにとって約1Mドル／年の経済的利益があり、リソグラフィ・ツールの販売業者にとって大きな競合的利点となる。

【0049】

リソグラフィ・ツールの機能は、ホトレジストでコーティングしたウェハ上に、空間的にパターン化された放射線を照射することである。このプロセスは、ウェハのどの位置に放射線を受光するかを決定するステップ（整合）と、その位置のホトレジストに放射線を照射するステップ（露光）とを含む。

【0050】

ウェハを正しく位置決めするために、ウェハは、専用のセンサで測定することができるウェハ上の整合マークを含む。整合マークの測定位置が、ツール内のウェハの位置を決める。この情報は、ウェハ面の所望のパターン化の仕様と一緒に、空間的にパターン化された放射線に対してウェハの整合を案内する。上記情報に基づいて、ホトレジストでコーティングしたウェハを支持している並進可能なステージは、放射線がウェハの正しい位置を露光するようにウェハを移動する。

【0051】

露光中、放射線源は、空間的にパターン化された放射線を発生するために、放射線を散乱するパターン化されたレチクルを照明する。レチクルはまたマスクとも呼ばれ、これらの用語は以下の説明において同じ意味で使用される。縮小リソグラフィの場合には、縮小レンズは、散乱した放射線を収集し、レチクル・パターンの縮小した画像を形成する。別の方法としては、近接印刷の場合には、散乱放射線は、レチクル・パターンの1:1の画像を形成するために、ウェハと接触する前に、短い距離（通常、数ミクロン程度）を伝搬する。放射線は、放射線パターンをレジスト内の潜象に変換するレジスト内の光化学プロセスをスタートする。

【0052】

干渉計システムは、ウェハおよびレチクルの位置を制御し、ウェハ上のレチクル画像を位置合わせするための位置決め機構の重要な構成要素である。このような干渉計システムが上記機能を含んでいる場合には、距離測定に対する巡回誤差の影響が最小限度に低減するにつれて、システムが測定する距離の精度は向上する。

【0053】

一般的に、露光システムとも呼ばれるリソグラフィ・システムは、通常、照明システムおよびウェハ位置決めシステムを含む。照明システムは、紫外線、可視光線、X線、電子

放射線またはイオン放射線のような放射線を供給するための放射線源、放射線をパターン化するためのレチクルまたはマスクを含んでいて、そのため、空間的にパターン化された放射線を発生する。さらに、縮小リソグラフィの場合には、照明システムは、ウェハ上に空間的にパターン化された放射線を画像形成するためのレンズ・アセンブリを含むことができる。画像形成された放射線は、ウェハ上にコーティングしたレジストを露光する。照明システムは、また、マスクを支持するためのマスク・ステージ、およびマスクを通過する放射線に対してマスク・ステージの位置を調整するための位置決めシステムを含む。ウェハ位置決めシステムは、ウェハを支持するためのウェハ・ステージ、および画像形成された放射線に対してウェハ・ステージの位置を調整するための位置決めシステムを含む。集積回路の製造は、複数の露光ステップを含むことができる。リソグラフィの一般的な情報については、例えば、（１９９８年、ニューヨーク所在のMarcel Dekker社発行の）J. R. SheatsおよびB. W. Smithの「マイクロリソグラフィ：科学および技術」（Micro lithography：Science and Technology）を参照されたい。上記文献の内容は参照により本明細書に組み込むものとする。

【0054】

上記干渉計は、レンズ・アセンブリ、放射線源または支持構造体のような露光システムの他の構成要素に対するウェハ・ステージおよびマスク・ステージそれぞれの位置を正確に測定するために、変位測定干渉計システムと一緒に使用することができる。そのような場合、変位測定干渉計システムは、固定構造体およびマスク・ステージおよびウェハ・ステージのうちの１つのような可動素子に取り付けられている測定対象物に取り付けることができる。別の方法としては、変位測定干渉計システムを可動対象物に取り付け、測定対象物を固定対象物に取り付けて、位置関係を逆にすることができる。

【0055】

より詳細に説明すると、干渉計システムは、干渉計システムが、構成要素のうちの１つに取り付けられているか、またはそれに支持されていて、測定対象物が構成要素の他のものに取り付けられているか、またはそれに支持されている露光システムの任意の他の構成要素に対する露光システムの任意のある構成要素の位置を測定するために使用することができる。

【0056】

図7Aは、干渉計システム1126を使用するリソグラフィ・スキャナ1100の一例を示す。干渉計システムは、露光システム内のウェハ（図示せず）の位置を正確に測定するために使用される。この場合、ステージ1122は、露光ステーションに対してウェハを位置決めし、支持するために使用される。スキャナ1100は、他の支持構造体を含むフレーム1102、およびこれらの構造体上に位置する種々の構成要素を含む。露光ベース1104は、レンズ・ハウジング1106の頂部に装着されていて、その頂部にはレチクルまたはマスクを支持するために使用するレチクル・ステージまたはマスク・ステージ1116が装着されている。露光ステーションに対してマスクを位置決めするための位置決めシステムは、素子1117で概略示す。位置決めシステム1117は、例えば、圧電トランスジューサ素子および対応する制御電子回路を含むことができる。上記実施形態には含んでいないが、１つまたは複数の上記DPMIを含む干渉計システムを、マスク・ステージおよびリソグラフィ構造体を製造するためのプロセスでその位置を正確に監視しなければならない他の可動素子の位置を正確に測定するために使用することもできる（上記のSheatsおよびSmithの「マイクロリソグラフィ：科学および技術」（Micro lithography：Science and Technology）を参照されたい）。

【0057】

露光ベース1104の下には、ウェハ・ステージ1122を含む支持ベース1113がつり下げられている。ステージ1122は、干渉計システム1126がステージの方に向けた測定ビーム1154を反射するための平面ミラー1128を含む。素子1119によ

り、干渉計システム 1 1 2 6 に対してステージ 1 1 2 2 を位置決めするための位置決めシステムを概略示す。位置決めシステム 1 1 1 9 は、例えば、圧電トランスジューサ素子および対応する制御電子回路を含むことができる。測定ビームは、露光ベース 1 1 0 4 上に装着されている干渉計システムの方に向け元の方に反射される。干渉計システムは、上記 D P M I 実施形態の中の任意のものを含むことができる。

【0 0 5 8】

動作中、例えば、U V レーザ（図示せず）からの紫外線（U V）ビームのような放射線ビーム 1 1 1 0 は、ビーム成形光学系アセンブリ 1 1 1 2 を通過し、ミラー 1 1 1 4 から反射した後で下方に伝搬する。その後で、放射線ビームは、マスク・ステージ 1 1 1 6 が備えているマスク（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 1 1 0 6 内に位置するレンズ・アセンブリ 1 1 0 8 を通して、ウェハ・ステージ 1 1 2 2 上のウェハ（図示せず）上に画像を形成する。それが支持するベース 1 1 0 4 および種々の構成要素は、環境の振動からスプリング 1 1 2 0 で示す制振システムにより絶縁されている。

【0 0 5 9】

リソグラフィ・スキャナの他の実施形態の場合には、1 つまたは複数の上記 D P M I を含む干渉計システムを複数の軸に沿った距離および例えばウェハ・ステージおよびレチクル（またはマスク）ステージに関連するが、これらに限定されない角度を測定するために使用することができる。また、U V レーザ・ビームではなく、例えば、X 線ビーム、電子ビーム、イオン・ビームおよび光学的可視ビームを含む他のビームも、ウェハを露光するために使用することができる。

【0 0 6 0】

ある実施形態の場合には、リソグラフィ・スキャナは、当業者がカラム基準と呼ぶものを含むことができる。このような実施形態の場合には、干渉計システム 1 1 2 6 は、放射線ビームを例えばレンズ・ハウジング 1 1 0 6 の方に向けるある種の構造体上に装着されている基準ミラー（図示せず）と接触する外部の基準経路に沿った方向に基準ビーム（図示せず）を向ける干渉計（例えば、D P M I）を含む。基準ミラーは、基準ビームを干渉計システムの方に送り返す。ステージ 1 1 2 2 から反射した測定ビーム 1 1 5 4 と、ハウジング 1 1 0 6 上に装着されている基準ミラーから反射した基準ビームとの結合が、放射線ビームに対するステージの位置の変化を示す場合、干渉信号は干渉計システム 1 1 2 6 により生成される。さらに、他の実施形態の場合には、干渉計システム 1 1 2 6 は、スキャナ・システムのレチクル（またはマスク）ステージ 1 1 1 6、または他の可動構成要素の位置の変化を測定するために設置することができる。最後に、干渉計システムを、スキャナの他にまたはスキャナではなく、ステッパを含むリソグラフィ・システムと同じような方法で使用するすることができる。

【0 0 6 1】

当業者であれば周知のように、リソグラフィは、半導体デバイスの製造方法の非常に重要な部分である。例えば、米国特許第 5, 4 8 3, 3 4 3 号は、このような製造方法のステップを概略説明している。これらのステップについては、図 7 B および図 7 C を参照しながら以下に説明する。図 7 B は、半導体チップ（例えば、I C または L S I）、液晶パネルまたは C C D 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 1 1 5 1 は、半導体デバイスの回路を設計するための設計プロセスである。ステップ 1 1 5 2 は、回路パターン設計に基づくマスクの製造プロセスである。ステップ 1 1 5 3 は、シリコンのような材料によるウェハの製造プロセスである。

【0 0 6 2】

ステップ 1 1 5 4 は、予備プロセスと呼ばれるウェハ・プロセスである。この場合、このように準備したマスクおよびウェハを使用して、回路がリソグラフィによりウェハ上に形成される。ウェハ上に十分な空間分解能でマスク上のこれらのパターンに対応する回路を形成するには、ウェハに対してリソグラフィ・ツールを干渉計により位置決めする必要がある。本明細書に記載した干渉法およびシステムは、ウェハ・プロセス中に使用するリ

10

20

30

40

50

ソグラフィの効果改善の際に特に役に立つ。

【0063】

ステップ1155は組立てプロセスである。このプロセスは後プロセスと呼ばれ、ステップ1154で処理されたウェハが半導体チップに形成される。このステップは、組立て（ダイシングおよびボンディング）およびパッケージング（チップ密封）を含む。ステップ1156は検査ステップである。このステップにおいて、ステップ1155で製造した半導体デバイスの作動性、耐久性等がチェックされる。これらのプロセスにより、半導体デバイスが完成し、出荷される（ステップ1157）。

【0064】

図7C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するための酸化プロセスである。ステップ1162は、ウェハの表面上に絶縁フィルムを形成するためのCVDプロセスである。ステップ1163は、蒸着によりウェハ上に電極を形成するための電極形成プロセスである。ステップ1164は、ウェハにイオンを注入するためのイオン注入プロセスである。ステップ1165は、ウェハにレジスト（感光材料）を塗布するレジスト・プロセスである。ステップ1166は、上記露光装置による露光（すなわち、リソグラフィ）により、ウェハ上にマスクの回路パターンを印刷するための露光プロセスである。この場合も、すでに説明したように、本発明の干渉計システムおよび方法を使用すれば、このようなリソグラフィ・ステップの精度および分解能が改善される。

【0065】

ステップ1167は、露光したウェハを現像するための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ためのエッチング・プロセスである。ステップ1169は、エッチング・プロセスを行った後で、ウェハ上に残っているレジスト材料を分離するためのレジスト分離プロセスである。これらのプロセスを反復することにより、回路パターンが形成され、ウェハ上に重畳される。

【0066】

上記干渉計システムは、また、対象物の相対位置を正確に測定しなければならない他の用途にも使用することができる。例えば、レーザ、X線、イオンまたは電子ビームのような書込みビームが、基板またはビーム移動として基板上にパターンを形成する用途の場合には、基板と書込みビームとの間の相対的移動を測定するために、干渉計システムを使用することができる。

【0067】

一例を挙げて説明すると、図8は、ビーム書込みシステム1200の略図である。放射線源1210は、書込みビーム1212を生成し、ビーム焦点アセンブリ1214は、放射線ビームを可動ステージ1218が支持している基板1216に向ける。ステージの相対位置を決定するために、変位測定干渉計システム1220は、基準ビーム1222をビーム焦点アセンブリ1214上に装置されているミラー1224の方向に向け、測定ビーム1226をステージ1218上に装着されているミラー1228の方向に向ける。基準ビームは、ビーム焦点アセンブリの上に装着されているミラーに入射するので、ビーム書込みシステムは、カラム基準を使用するシステムの一例である。干渉計システム1220は、上記干渉計システムの中の任意のものを含むことができる（例えば、干渉計システム1220の変位測定干渉計の測定ビーム経路の近くの大気屈折率の変化を測定するための屈折計として使用される）。干渉計システムで測定した位置の変化は、基板1216上の書込みビーム1212の相対位置の変化に対応する。干渉計システム1220は、測定信号1232を基板1216上の書込みビーム1212の相対位置を示すコントローラ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。さらに、コントローラ1230は、基板の選択した位置だけで光物理的または光化学的变化を起こさせるのに十分な輝度で書込みビームが基板を照射するように、書込みビーム1212の輝度を変化させ、または書込みビーム1212を遮断する目的で信号1238を放射線源1210に送る。

【0068】

さらに、ある実施形態の場合には、コントローラ1230は、例えば、信号1244を使用して、ビーム焦点アセンブリ1214に、基板のある領域上で書込みビームを走査させることができる。その結果、コントローラ1230は、システムの他の構成要素を基板をパターン化するために向ける。パターン化は、通常、コントローラが記憶している電子設計パターンに基づいて行われる。ある用途の場合には、書込みビームは、基板上にコーティングされているレジストをパターン化し、他の用途の場合には、書込みビームは基板を直接パターン化する、例えば、エッチングする。

【0069】

このようなシステムの重要な用途は、上記リソグラフィ方法で使用す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・マスクを製造する目的で、クロームでコーティングしたガラス基板をパターン化するために、電子ビームを使用することができる。書込みビームが電子ビームである場合には、ビーム書込みシステムは、電子ビームを真空内に閉じ込める。また、書込みビームが、例えば、電子ビームまたはイオン・ビームである場合には、ビーム焦点アセンブリは、真空内の基板上に帯電粒子の焦点を結ばせ、その方向に向けるために、四極レンズのような電界発生器を含む。書込みビームが、例えば、X線、紫外線または可視放射線のような放射線ビームである場合には、ビーム焦点アセンブリは、放射線の焦点を基板上に結ばせ、放射線を基板の方向に向けるための対応する光学系を含む。

【0070】

今まで本発明の多数の実施形態について説明してきた。しかし、本発明の精神および範囲から逸脱することなしに、種々の修正を行うことができる。それ故、他の実施形態も下記の特許請求の範囲内に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【0071】

【図1】 差動平面ミラー干渉計（DPMI）を含む干渉計システムの略図。

【図2A】 垂直方向に偏光している入力ビーム成分の経路を含むDPMIのある実施形態の平面図。

【図2B】 垂直方向に偏光している入力ビーム成分の経路を含む図2AのDPMIの側面図。

【図3A】 水平方向に偏光している入力ビーム成分の経路を含む図2AのDPMIの平面図。

【図3B】 水平方向に偏光している入力ビーム成分の経路を含む図2AのDPMIの側面図。

【図4A】 垂直方向に偏光している入力ビーム成分の経路を含むDPMIの他の実施形態の平面図。

【図4B】 垂直方向に偏光している入力ビーム成分の経路を含む図4AのDPMIの側面図。

【図5A】 水平方向に偏光している入力ビーム成分の経路を含む図4AのDPMIの平面図。

【図5B】 水平方向に偏光している入力ビーム成分の経路を含む図4AのDPMIの側面図。

【図6A】 干渉計のビームのうちの1つが、密封チャンバを通る経路に沿って伝搬するDPMIを含む干渉計システムの略図。

【図6B】 干渉計のビームがそれぞれ異なるミラーに2回通過するDPMIを含む干渉計システムの略図。

【図7A】 本明細書に記載した干渉計システムを含み、集積回路を製造する際に使用するリソグラフィ・システムの略図。

【図7B】 集積回路を製造するためのステップを説明するフローチャート。

【図7C】 集積回路を製造するためのステップを説明するフローチャート。

10

20

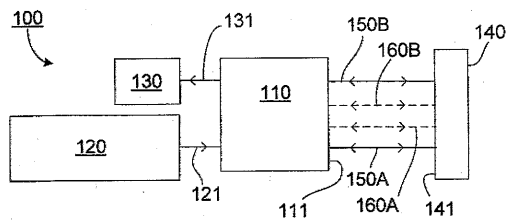
30

40

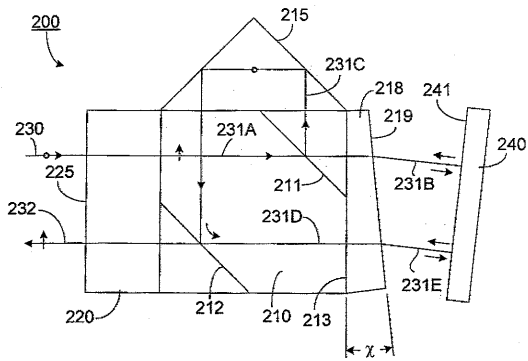
50

【図 8】 本明細書に記載した干渉計システムを含むビーム書込みシステムの略図。

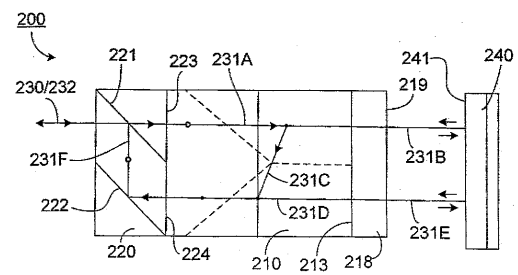
【図 1】



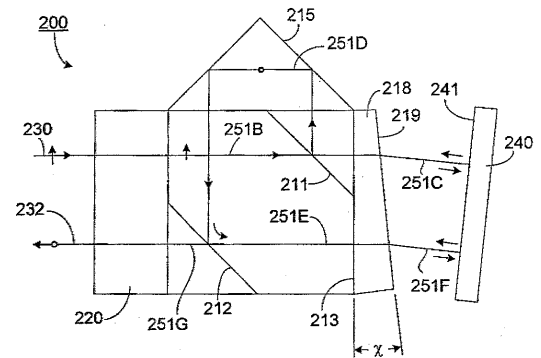
【図 2 A】



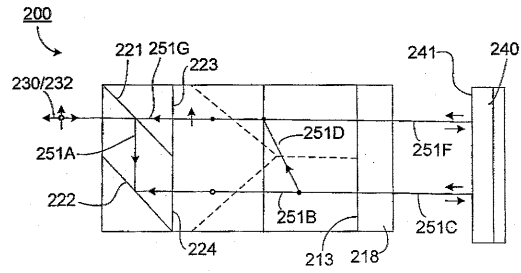
【図 2 B】



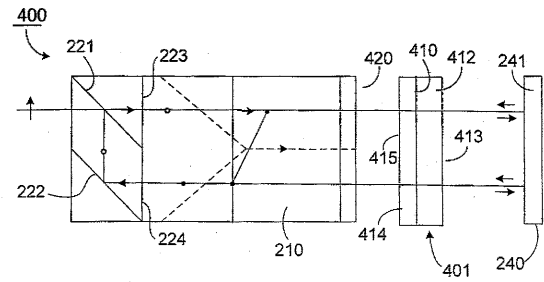
【図 3 A】



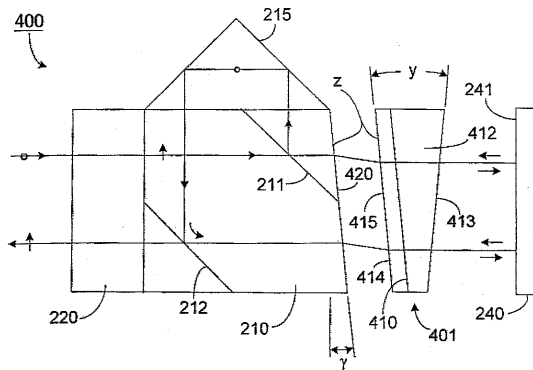
【図 3 B】



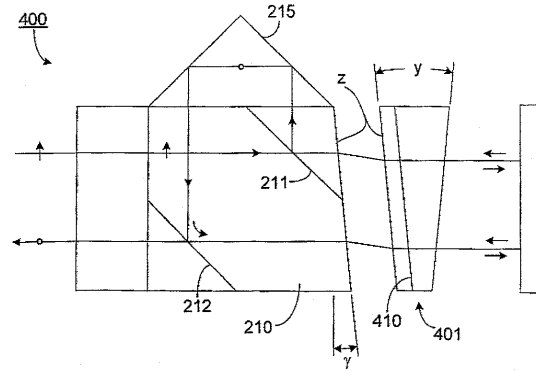
【図 4 B】



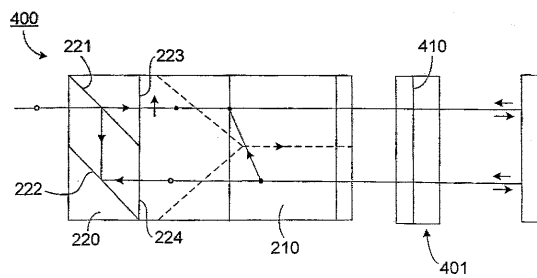
【図 4 A】



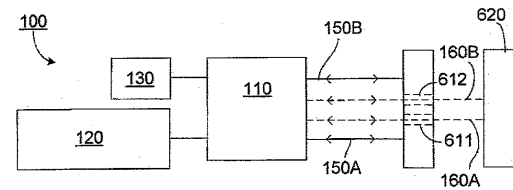
【図 5 A】



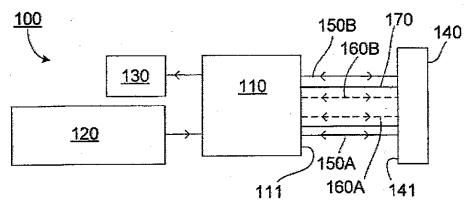
【図 5 B】



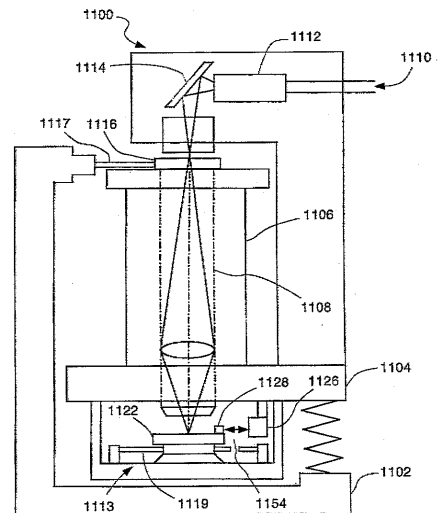
【図 6 B】



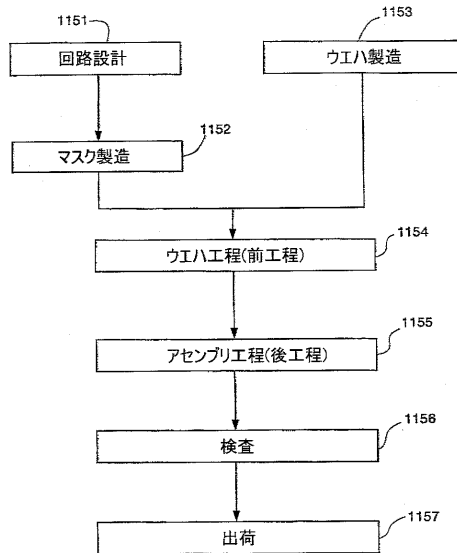
【図 6 A】



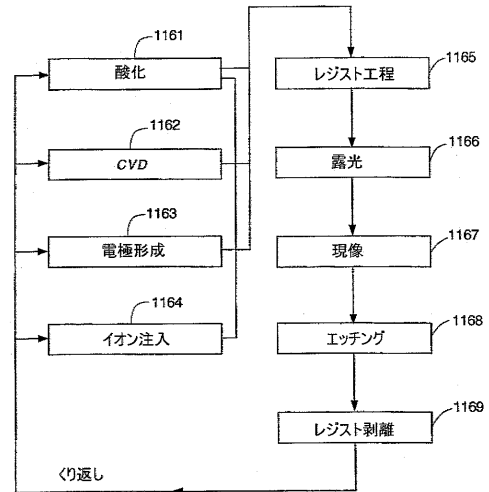
【図 7 A】



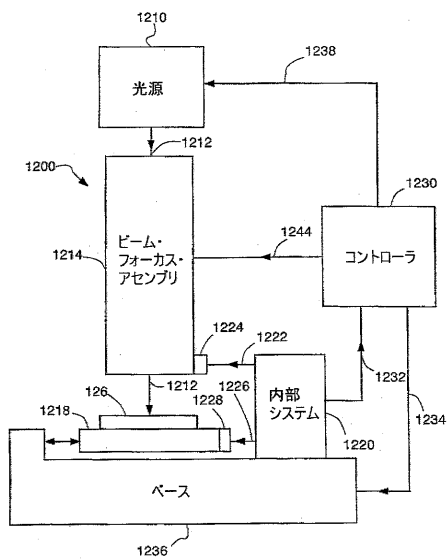
【図 7 B】



【図 7 C】



【図 8】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2F064 AA01 AA06 BB01 DD06 DD08 EE01 GG12 GG13 GG16 GG23
GG38 GG39 HH00
5F046 AA17 CB15 CB23

【外国語明細書】

INTERFEROMETERS AND SYSTEMS USING INTERFEROMETERS

CROSS-REFERENCE TO RELATED APPLICATIONS

This application claims priority under 35 USC §119 to Provisional Patent Application No. 60/550,206, entitled “DIFFERENTIAL PLANE MIRROR INTERFEROMETER WITH REDUCED CYCLIC ERRORS,” filed on March 3, 2004, the entire contents of which are hereby incorporated by reference.

BACKGROUND

This invention relates to interferometers, *e.g.*, displacement measuring and dispersion interferometers that measure angular and linear displacements of a measurement object such as a mask stage or a wafer stage in a lithography scanner or stepper system, and also interferometers that monitor wavelength and determine intrinsic properties of gases (*e.g.*, the refractive index or changes in refractive index of a gas).

Displacement measuring interferometers monitor changes in the position of a measurement object relative to a reference object based on an optical interference signal. The interferometer generates the optical interference signal by overlapping and interfering a measurement beam reflected from the measurement object with a reference beam reflected from the reference object.

In many applications, the measurement and reference beams have orthogonal polarizations and different frequencies. The different frequencies can be produced, for example, by laser Zeeman splitting, by acousto-optical modulation, or internal to the laser using birefringent elements or the like. The orthogonal polarizations allow a polarizing beam-splitter to direct the measurement and reference beams to the measurement and reference objects, respectively, and combine the reflected measurement and reference beams to form overlapping exit measurement and reference beams. The overlapping exit beams form an output beam that subsequently passes through a polarizer. The polarizer mixes polarizations of the exit measurement and reference beams to form a mixed beam. Components of the exit measurement and reference beams in the mixed beam interfere with one another so that the intensity of the mixed beam varies with the relative phase of the exit measurement and reference beams. A detector measures the time-dependent

intensity of the mixed beam and generates an electrical interference signal proportional to that intensity. Because the measurement and reference beams have different frequencies, the electrical interference signal includes a “heterodyne” signal having a beat frequency equal to the difference between the frequencies of the exit measurement and reference beams. If the lengths of the measurement and reference paths are changing relative to one another, *e.g.*, by translating a stage that includes the measurement object, the measured beat frequency includes a Doppler shift equal to $2vnp/\lambda$, where v is the relative speed of the measurement and reference objects, λ is the wavelength of the measurement and reference beams, n is the refractive index of the medium through which the light beams travel, *e.g.*, air or vacuum, and p is the number of passes to the reference and measurement objects. Changes in the relative position of the measurement object correspond to changes in the phase of the measured interference signal, with a 2π phase change substantially equal to a distance change in L of $\lambda/(np)$, where L is a round-trip distance change, *e.g.*, the change in distance to and from a stage that includes the measurement object.

Unfortunately, this equality is not always exact. Many interferometers include non-linearities such as what are known as “cyclic errors.” The cyclic errors can be expressed as contributions to the phase and/or the intensity of the measured interference signal and have a sinusoidal dependence on phase changes associated with changes in optical path length pnL and/or on phase changes associated with other parameters. For example, there is first harmonic cyclic error in phase that has a sinusoidal dependence on $(2\pi pnL)/\lambda$ and there is second harmonic cyclic error in phase that has a sinusoidal dependence on $2(2\pi pnL)/\lambda$. Higher harmonic and fractional cyclic errors may also be present.

Cyclic errors can be produced by “beam mixing,” in which a portion of an input beam that nominally forms the reference beam propagates along the measurement path and/or a portion of an input beam that nominally forms the measurement beam propagates along the reference path. Such beam mixing can be caused by misalignment of interferometer with respect to polarization states of input beam, birefringence in the optical components of the interferometer, and other imperfections in the interferometer

components, *e.g.*, imperfections in a polarizing beam-splitter used to direct orthogonally polarized input beams along respective reference and measurement paths. Because of beam mixing and the resulting cyclic errors, there is not a strictly linear relation between changes in the phase of the measured interference signal and the relative optical path length pnL between the reference and measurement paths. If not compensated, cyclic errors caused by beam mixing can limit the accuracy of distance changes measured by an interferometer. Cyclic errors can also be produced by imperfections in transmissive surfaces that produce undesired multiple reflections within the interferometer and imperfections in components such as retroreflectors and/or phase retardation plates that produce undesired ellipticities and undesired rotations of planes of polarization in beams in the interferometer. For a general reference on the theoretical causes of cyclic errors, see, for example, C.W. Wu and R.D. Deslattes, "Analytical modelling of the periodic nonlinearity in heterodyne interferometry," *Applied Optics*, **37**, 6696-6700, 1998.

In dispersion measuring applications, optical path length measurements are made at multiple wavelengths, *e.g.*, 532 nm and 1064 nm, and are used to measure dispersion of a gas in the measurement path of the distance measuring interferometer. The dispersion measurement can be used to convert the optical path length measured by a distance measuring interferometer into a physical length. Such a conversion can be important since changes in the measured optical path length can be caused by gas turbulence and/or by a change in the average density of the gas in the measurement arm even though the physical distance to the measurement object is unchanged. In addition to the extrinsic dispersion measurement, the conversion of the optical path length to a physical length requires knowledge of an intrinsic value of the gas. The factor Γ is a suitable intrinsic value and is the reciprocal dispersive power of the gas for the wavelengths used in the dispersion interferometry. The factor Γ can be measured separately or based on literature values. Cyclic errors in the interferometer also contribute to dispersion measurements and measurements of the factor Γ . In addition, cyclic errors can degrade interferometric measurements used to measure and/or monitor the wavelength of a beam.

SUMMARY

In general, in one aspect, the invention features apparatus that include an interferometer including a main assembly having two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces, wherein the interfaces are positioned to receive two spatially separated beams and direct them each to make at least two passes to one or more remote objects. Each interface reflects and transmits each beam at least once, and the interferometer is configured to combine the two beams after they make the at least two passes to the one or more remote objects to produce an output beam including information about an optical path length difference between paths traveled by the two beams.

In general, in another aspect, the invention features interferometers that includes an input assembly comprising two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces, and a main assembly including at least one polarizing beam splitter interface, wherein the interfaces in the input assembly are positioned to derive two spatially separated beams from an input beam, the main assembly directs the spatially separated beams each to make at least two passes to one or more remote objects, and the input assembly combines the two beams after they make the at least two passes to the one or more remote objects to produce an output beam comprising information about an optical path length difference between paths traveled the two beams.

In general, in another aspect, the invention features apparatus that include an interferometer assembly including an output surface, the interferometer assembly being configured to direct two spatially separated beams to make at least two passes to one or more remote objects, wherein the spatially separated beams intersect the output surface at least once on each pass to the one or more remote objects and a surface normal of the output surface at each intersection is non-parallel with the respective beam path, and the interferometer assembly is configured to combine the two beams after they make the at least two passes to the one or more remote objects to produce an output beam including information about an optical path length difference between paths traveled by the two beams.

Embodiments of the apparatus and/or interferometers can include one or more of the following features. The apparatus can include an input assembly configured to derive the spatially separated beams from an input beam and to direct the spatially separated

beams towards the main assembly. The input assembly can be configured so that the spatially separated beams have orthogonal polarizations when exiting the input assembly. The apparatus can include a wave plate between the input assembly and the main assembly, the wave plate being configured to rotate the polarization of one of the spatially separated beams as it travels between the input assembly and the main assembly. The wave plate can be a polymeric wave plate.

An output surface of the input assembly can be optically coupled to an input surface of the main assembly. The input assembly can be configured to direct the two beams towards the main assembly along parallel paths. The input assembly can include two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces. The two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces of the input assembly can be parallel. The two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces of the input assembly can be non-parallel to the two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces of the main assembly.

The interferometers can be configured so that the two spatially separated beams have the same polarization when they are received by the main assembly. The main assembly can be configured to direct the spatially separated beams to make at least two passes along parallel paths to the one or more remote objects. The apparatus can include a retroreflector configured to direct the spatially separated beams back towards the main assembly after each beam makes its first pass to the one or more remote objects. The interferometers can be configured so that each of the spatially separated beams makes at least two passes to different locations on the one or more remote objects. The laterally displaced polarizing beam splitter interfaces can be parallel. The main assembly can be monolithic. The apparatus can include an output surface configured so that the spatially separated beams intersect the output surface at least once and a surface normal of the output surface at each intersection is non-parallel with the respective beam path. An angle between each surface normal and the respective beam path can be about 0.1° or more. An angle between each surface normal and the respective beam path can be about 10° or less. The output assembly comprises a wedge. The apparatus can include a quarter wave plate positioned between the main assembly and the output assembly. The

quarter wave plate can be a polymeric quarter wave plate. The output assembly can be optically coupled to the main assembly.

The apparatus can include a detector positioned to receive the output beam. The apparatus can include a source configured to provide an input beam from which the interferometer derives the spatially separated beams. The one or more remote objects can include of a reflecting element. The reflecting element can be a plane mirror or a retroreflector.

In another aspect, the invention features a refractometer including an apparatus as described above.

In general, in a further aspect, the invention features methods that include using an interferometer to direct two spatially separated beams to each make at least two passes to one or more remote objects, wherein the interferometer includes two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces positioned to receive the two beams and each interface reflects and transmits each beam at least once, and combining the two beams after they make the at least two passes to the one or more remote objects to produce an output beam comprising information about an optical path length difference between the two beams.

In another aspect, the invention features lithography systems for use in fabricating integrated circuits on a wafer. The systems include a stage for supporting the wafer, an illumination system for imaging spatially patterned radiation onto the wafer, a positioning system for adjusting the position of the stage relative to the imaged radiation, and an interferometry system including an apparatus described above, the interferometry system being configured to monitor the position of the wafer relative to the imaged radiation.

In another aspect, the invention features lithography systems for use in fabricating integrated circuits on a wafer. The systems include a stage for supporting the wafer, and an illumination system including a radiation source, a mask, a positioning system, a lens assembly, and an interferometry system including an apparatus described above, wherein during operation the source directs radiation through the mask to produce spatially patterned radiation, the positioning system adjusts the position of the mask relative to the radiation from the source, the lens assembly images the spatially patterned radiation onto

the wafer, and the interferometry system monitors the position of the mask relative to the radiation from the source.

In another aspect, the invention features beam writing systems for use in fabricating a lithography mask. The systems include a source providing a write beam to pattern a substrate, a stage supporting the substrate, a beam directing assembly for delivering the write beam to the substrate, a positioning system for positioning the stage and beam directing assembly relative one another, and an interferometry system including an apparatus described above, the interferometry system being configured to monitor the position of the stage relative to the beam directing assembly.

In general, in another aspect, the invention features lithography methods for use in fabricating integrated circuits on a wafer. The methods include supporting the wafer on a moveable stage, imaging spatially patterned radiation onto the wafer, adjusting the position of the stage, and monitoring the position of the stage using an interferometry system including an apparatus described above.

In another aspect, the invention features lithography methods for use in the fabrication of integrated circuits including directing input radiation through a mask to produce spatially patterned radiation, positioning the mask relative to the input radiation, monitoring the position of the mask relative to the input radiation using an interferometry system including an apparatus described above, and imaging the spatially patterned radiation onto a wafer.

In another aspect, the invention features lithography methods for fabricating integrated circuits on a wafer including positioning a first component of a lithography system relative to a second component of a lithography system to expose the wafer to spatially patterned radiation, and monitoring the position of the first component relative to the second component using an interferometry system including an apparatus described above.

In another aspect, the invention features methods for fabricating integrated circuits, the methods including a lithography method described above.

In another aspect, the invention features methods for fabricating a lithography mask including directing a write beam to a substrate to pattern the substrate, positioning the substrate relative to the write beam, and monitoring the position of the substrate

relative to the write beam using an interferometry system including an apparatus described above.

Embodiments include differential plane mirror interferometers (DPMIs) that provide measurements having reduced cyclic errors. Cyclic errors can be reduced by reducing the number of air/glass interfaces in a DPMI assembly, thereby reducing the intensity of spurious reflections from each interface that can contribute to cyclic errors. The number of air/glass interfaces can be reduced by providing a monolithic interferometer assembly. Monolithic assemblies can also provide mechanically stable structures compared to assemblies with discrete components. Furthermore, monolithic assemblies be smaller than assemblies formed from discrete components and can reduce the number of mechanical support components (e.g., mounts and fasteners) required to fix the optical components of an assembly together. A reduced number of components can also reduce the cost of an interferometer assembly.

The effect of spurious reflections from air/glass interfaces can also be reduced by providing interfacial surfaces that have non-orthogonal orientations relative to the path of beams that traverse the surfaces. Such constructions can be achieved using wedges in interferometers assemblies. Embodiments also include DPMIs that have output surfaces oriented non-normal to the path of measurement beams. For example, in some embodiments, interferometer assemblies can include a wedge positioned between the main interferometer assembly and the measurement object. The wedge can be optically coupled to the main assembly.

Cyclic errors can also be reduced by reducing the amount of “leaked” polarization in the components of an output beam. An ideal interferometer using a polarizing beam splitter (PBS) would split an input beam into two orthogonally polarized components where each component would be 100% polarized. In reality, PBSs used to split an input beam into orthogonal linearly polarized beams are not perfect polarizers, and the beams exiting the polarizers include a small amount of “leaked” polarization orthogonal to the desired polarization state. However, the extent to which leaked polarization reaches a detector in an interferometry system can be reduced by providing additional polarizing beam splitters in the path of each beam. The effect of each additional pass of a beam

through a PBS and/or each additional pass of a beam through a PBS reduces the amount of leaked polarization in the output beam, reducing associated cyclic errors.

In certain embodiments, errors in interferometer measurements due to wavefront distortions from reflections at facet edges and/or vertices of optical components can be reduced. For example, by replacing a single PBS interface with two laterally displaced PBS interfaces in the main assembly of an interferometer provides flexibility to select a retroreflector sufficiently large so that the beams reflected by the retroreflector reflect from facets rather than facet edges for a range of orientations of a measurement object.

DPMIs described herein can be used in refractometers, improving their measurement accuracy. Refractometers can be used in displacement measuring interferometers to provide accurate displacement measurements. Alternatively, or additionally, DPMIs described herein can be used in conjunction with a column reference to monitor variations in the relative position between the column reference and another measurement object located remote from the interferometer. Furthermore, the interferometry systems and methods described herein can be used to provide accurate metrology and positioning measurements in microlithography and beam-writing systems.

Beams, beam paths, interfaces, and/or axes referred to as being parallel or nominally parallel may deviate from being perfectly parallel to the extent that the effect of the deviation on a measurement is negligible (e.g., less than the required measurement accuracy by an order of magnitude or more) or otherwise compensated.

Other features, objects, and advantages of the invention will be apparent from the following detailed description and drawings, and from the claims.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

FIG. 1 is a schematic diagram of an interferometry system that includes a differential plane mirror interferometer (DPMI).

FIG. 2A is a plan view of an embodiment of a DPMI including the path of an input beam component being vertically polarized.

FIG. 2B is a side view of the DPMI shown in FIG. 2A including the path of an input beam component being vertically polarized.

FIG. 3A is a plan view of the DPMI shown in FIG. 2A including the path of an input beam component being horizontally polarized.

FIG. 3B is a side view of the DPMI shown in FIG. 2A including the path of an input beam component being horizontally polarized.

FIG. 4A is a plan view of another embodiment of a DPMI including the path of an input beam component being vertically polarized.

FIG. 4B is a side view of the DPMI shown in FIG. 4A including the path of an input beam component being vertically polarized.

FIG. 5A is a plan view of the DPMI shown in FIG. 4A including the path of an input beam component being horizontally polarized.

FIG. 5B is a side view of the DPMI shown in FIG. 4A including the path of an input beam component being horizontally polarized.

FIG. 6A is a schematic view of an interferometry system including a DPMI wherein one of the interferometer beams travels along a path through a sealed chamber.

FIG. 6B is a schematic view of an interferometry system including a DPMI wherein the interferometer beams each make a double pass to a different mirror.

FIG. 7A is schematic diagram of a lithography system that includes an interferometry system described herein and is used to make integrated circuits. FIGS. 7B-7C are flow charts that described steps for making integrated circuits.

FIG. 8 is a schematic of a beam writing system that includes an interferometry system described herein.

Like reference symbols in the various drawings indicate like elements.

DETAILED DESCRIPTION

Referring to FIG. 1, an interferometry system 100 includes a DPMI 110, a source 120, and a detector 130. The source directs an input beam 121 to DPMI 110, which derives two beams from input beam 121 and directs the two beams out of DPMI 110 through output surface 111 to reflect from a surface 141 of a plane mirror 140 that is remote from DPMI 110. Each beam makes a double pass to mirror 140, each time along a different path. As depicted in FIG. 1, a first of the two beams makes a first pass 150A and a second pass 150B to mirror. The second beam makes a first pass 160A and a

second pass 160B to mirror 140. After the beams have made their passes to mirror 140, DPMI 110 overlaps the beams to form an output beam 131, which is detected at a detector 130. Output beam 131 includes an interferometric phase related to the optical path length difference between the first and second beams.

FIGs. 2A, 2B, 3A, and 3B show an example of a DPMI, DPMI 200. FIGs. 2A and 2B show a plan and side view of interferometer 200, respectively, for the path of a vertically polarized input beam 230 (vertical refers to the direction orthogonal to the plane of the page for FIGs. 2A and 3A). FIGs. 3A and 3B show the same views as FIGs. 2A and 2B, respectively, but show the path of a horizontally polarized input beam 250. For a heterodyne detection scheme, the beams paths in FIGs. 2A and 2B are traced by a different frequency beam relative to the beams paths shown in FIGs. 3A and 3B.

During operation, DPMI 200 directs splits an input beam into its vertically and horizontally polarized component beams, and directs both component beams along different paths to reflect from a surface 241 of a plane mirror 240 twice, before overlapping the component beams to form an output beam. A description of the components of DPMI 200 and the path of each beam through DPMI follows.

Interferometer 200 includes an input assembly 220 and a main assembly 210. Input assembly 220 includes two polarizing beam splitter (PBS) interfaces, interface 220 and interface 221. These interfaces are offset laterally and are oriented parallel to each other. A half wave plate (e.g., a polymeric half wave plate) 223 is positioned adjacent interface 221, between input assembly 220 and main assembly 210. half wave plate 223 does not extend adjacent to interface 222. Main assembly 210 includes two PBS interfaces 211 and 212. Interfaces 211 and 212 are also offset laterally and oriented parallel to each other. Interfaces 211 and 212 are non-parallel with interfaces 221 and 222. Main assembly 215 also includes a corner cube retroreflector 215, and a wedge 218 having a wedge angle, x . An output surface 219 of wedge 218 is positioned facing plane mirror 140.

During operation, orthogonally polarized input beam components directed along path 230 are incident on input assembly 220 adjacent interface 221. Interface 221 the orthogonally polarized components along different paths, transmitting the vertically

polarized component towards main assembly 210 along path 231A and reflecting the horizontally polarized component towards interface 222 along path 251A.

Referring specifically to FIGs. 2A and 2B, wave plate 223 rotates the vertically polarized component propagating along path 231A by 90° . Interface 211 transmits this beam 231A, which exits DPMI 200 through output surface 219 along path 231B and reflects from surface 241 of mirror 240. The double pass of the beam through quarter wave plate 213 rotates the polarization the beam by 90° , so when the beam returns to interface 211 it is now polarized vertically and is reflected by this interface along path 231C. The beam is reflected from interface 211 towards retroreflector 215, which in turn directs the beam towards interface 212. Note that interface 211 and the reflecting surfaces of retroreflector 215 are oriented to direct the beam to a horizontal plane below the plane defined by the input and output beam components 230 and 232. Furthermore, interface 212 is configured to reflect vertically polarized light, and reflects the beam back towards mirror 240 along path 231D. The beam exits DPMI 200 along path 231E, reflects from mirror 240, and re-enters the DPMI along the beam path 231D. Note that path 231E is parallel to path 231B. Once the beam re-enters the main assembly, it is now polarized horizontally, having been twice transmitted by quarter wave plate 213. With this polarization, the beam is transmitted by interface 212 and re-enters input assembly 220. The horizontally polarized beam is reflected from interface 222 along path 231F towards interface 221. The beam exits input assembly polarized horizontally along path 232.

Referring now to FIGs. 3A and 3B, the horizontally polarized component of the input beam is reflected by interface 221 along path 251A towards interface 222. This beam reflects from interface 222 and enters main assembly 210 along path 251B. A spacer 224 adjacent interface 222 transmits the beam without rotating its polarization state, so the beam remains horizontally polarized when it enters main assembly 210. The spacer can be an optically isotropic component having the same thickness as half wave plate 223. Alternatively, spacer 224 can be a half wave plate with its principle axis oriented vertically or horizontally. Interface 211 transmits the beam, which exits DPMI 200 through output surface 219 and propagates along path 251C to reflect from mirror 240. The reflected beam reenters DPMI 200 along the same path, and reflects from

interface 211 having had its polarization state rotated through 90° due to the double pass through quarter wave plate 213. Interface 211 directs the beam along path 251D towards interface 212. Interface 212 directs the beam along path 251E, back in the horizontal plane defined by beam paths 230 and 232. The beam then exits DPMI 200 through output surface 219 on its second pass to mirror 240 along path 251F. Upon reflection from mirror 240, the beam reenters DPMI 200 again having had its polarization state rotated through 90° by the double pass through quarter wave plate 213. Now polarized in the vertical direction, the beam is transmitted by PBS interface 212, travels along path 251G to PBS interface 221 and exits DPMI 200 along path 232 where it overlaps with the other component, forming the interferometer output beam. Note that beam paths 251C and 251F are parallel, and are also parallel to beam paths 231B and 231E.

In general, wedge angle x can vary as desired. As shown in FIGs. 2A and 3A, wedge angle x can be selected so that beam paths 231B, 231E, 251C, and 251 are non-parallel to the normal to output surface 219. x can be sufficiently large to reduce (e.g., eliminate) overlap of any portion of a ghost beam reflected at output surface 219 with the transmitted beam when the component beam corresponding to the transmitted beam exits DPMI 200 in the interferometer output beam. Reduced overlap of the output beam components with portions of the beam reflected spuriously from surfaces, such as output surface 319, can reduce errors (e.g., cyclic errors) in measurements made using DPMI 200.

The degree of overlap of a beam caused by reflection at the output surface and the output beam depends on wedge angle, x , the diameter of the beam, and the beam's path length from output surface 319 to a detector used to monitor the output beam. Accordingly, for relatively large diameter beams and/or interferometers having relatively short beam paths from output surface 319 to the detector, the wedge angle can be increased to reduce this overlap. In some embodiments, x can be about 0.1° or more (e.g., about 0.5° or more, about 1° or more). Typically, x is about 10° or less. In some embodiments, x is about 3° . Alternatively, in some embodiments, the wedge angle is 0° .

One or more optical surfaces (i.e., surfaces of components that are in the path of one or more beams) can include an antireflection coating. For example, input surface 225 and/or output surface 219 can include an antireflection coating. An antireflection coating

can reduce spurious reflections of an incident beam from the surface, thereby reducing errors (e.g., cyclic errors) in measurements made using DPMI 200.

In some embodiments, input assembly 220 is formed from a rhombic prism with PBS coatings on opposing surfaces. Right angle prisms can be bonded to the coated surfaces to provide a monolithic rectangular assembly.

Main assembly 220 can be formed by grinding or cleaving opposing corners of a rectangular or cubic block of material (e.g., glass) to provide opposing parallel surfaces onto which PBS coatings can be deposited. The size of the surfaces can be selected based on the size of the cube corner retroreflector to be used in the assembly. Pyramidal prisms can be bonded to the coated surfaces to provide a monolithic rectangular assembly onto which the retroreflector can be attached.

Main assembly 210 and input assembly 220 are bonded together and to other components so that DPMI 200 is a monolithic assembly, where the optical interfaces between adjacent components are optically coupled to each other. Optical coupling between components can be achieved using an optical adhesive or an index matching fluid. Use of birefringent films as retarders (e.g., for half wave retarder 223 and/or quarter wave plate 213) also facilitates forming a monolithic assembly since these films can be readily laminated between other components. Optical coupling of adjacent components can reduce spurious reflections from component interfaces, reducing errors (e.g., cyclic errors) in measurements made using DPMI 200.

Although DPMI 200 is a monolithic structure, in some embodiments, one or more components of a DPMI need not be optically coupled to the other components. For example, referring to FIGs. 4A, 4B, 5A, and 5B, in certain embodiments a DPMI 400 can include a discrete assembly 401 separate from a monolithic input assembly/main assembly structure. In some embodiments, assembly 401 can be used as a window in a reference cavity. Assembly 401 includes a quarter wave plate 410 (e.g., a polymeric quarter wave plate) sandwiched between an optical flat 414 and a wedge 412. The exposed surface 413 of wedge 412 is the output surface for DPMI 400 and faces mirror 240.

Exposed surface 420 of main assembly 210, exposed surface 415 of optical flat 414, and exposed surface 413 are all oriented non-orthogonal to the path of the

interferometer input and output beams, thereby reducing the incidence of spurious reflections from these surfaces at the interferometer's detector. As indicated in the figures, the angle of wedge 412 is y and the angular offset of surface 420 from a surface orthogonal to the interferometer input and output beams is γ . In some embodiments, y can be about 0.1° or more (e.g., about 0.5° or more, about 1° or more). Typically, y is about 10° or less. In certain embodiments, γ is about 0.1° or more (e.g., about 0.5° or more, about 1° or more), and less than about 10° . Furthermore, one or more of surfaces 413, 415, and 420 can include an antireflection coating. The angular offset between surface 415 and surface 420 is denoted z , and can also vary. In some embodiments, z is about 0.5° or more (e.g., about 1.0° or more, about 1.5° or more, about 2° or more). Alternatively, in certain embodiments, surface 415 and surface 420 are parallel (i.e., z is 0°).

While x , y , z , and γ represent azimuthal angular displacements about a vertical axis, generally the surfaces can be oriented with angular displacements relative to other axes (e.g., a horizontal axis). In general, y , z , and/or γ can be angular displacements about parallel axes or non-parallel axes. For example, in some embodiments, y can be an angular displacement about a vertical axis, while z is a vertical displacement about a horizontal axis.

In general, DPMIs such as those described above can be used in a variety of applications. For example, in some embodiments, DPMIs can be used in a refractometer. Referring to FIG. 6A, in some embodiments, interferometry system 100 shown in FIG. 1 can be adapted for use as a refractometer, monitoring variations in ambient refractivity.. In this example, one of the two beams (i.e., the beam corresponding to beam passes 160A and 160B) can be enclosed in a chamber 170 having a controlled environment (e.g., a vacuum). When mirror 140 is mechanically fixed with respect to DPMI 110, variations in the phase of output beam 131 can be attributed to variations in the refractivity of the atmosphere in the path of beams 150A and 150B. Examples of interferometric refractometers are described in U.S. Patent No. 6,529,279, entitled "INTERFEROMETER AND METHOD FOR MEASURING THE REFRACTIVE INDEX AND OPTICAL PATH LENGTH EFFECTS OF AIR," for example, the entire contents of which are hereby incorporated by reference.

While the in the foregoing embodiments both interferometer beams reflect from the same mirror, in certain embodiments, the beams can reflect from different objects. For example, referring to FIG. 6B, in some embodiments, one beam directed along paths 150A and 150B can reflect from a first mirror 610, while the other beam directed along paths 660A and 660B reflect from a different mirror 620. While paths 150A, 150B, 660A, and 660B are parallel, first mirror 610 includes apertures 611 and 612 corresponding to paths 660A and 660B, respectively. Accordingly, the beam propagating along paths 660A and 660B passes through apertures 611 and 612, rather than reflecting from first mirror 610. In this configuration, the interference phase corresponds to variations in the relative position between mirror 610 and mirror 620.

In general, DPMIs can be used in other applications to monitor the variations in the displacement between two objects, such as with a column reference as described below.

The interferometry systems described above can provide measurements with reduced cyclic errors compared to other interferometry systems. Such systems can be especially useful in lithography applications used in fabricating large scale integrated circuits such as computer chips and the like. Lithography is the key technology driver for the semiconductor manufacturing industry. Overlay improvement is one of the five most difficult challenges down to and below 100 nm line widths (design rules), see for example the *Semiconductor Industry Roadmap*, p82 (1997).

Overlay depends directly on the performance, *i.e.* accuracy and precision, of the distance measuring interferometers used to position the wafer and reticle (or mask) stages. Since a lithography tool may produce \$50-100M/year of product, the economic value from improved performance distance measuring interferometers is substantial. Each 1% increase in yield of the lithography tool results in approximately \$1M/year economic benefit to the integrated circuit manufacturer and substantial competitive advantage to the lithography tool vendor.

The function of a lithography tool is to direct spatially patterned radiation onto a photoresist-coated wafer. The process involves determining which location of the wafer is to receive the radiation (alignment) and applying the radiation to the photoresist at that location (exposure).

To properly position the wafer, the wafer includes alignment marks on the wafer that can be measured by dedicated sensors. The measured positions of the alignment marks define the location of the wafer within the tool. This information, along with a specification of the desired patterning of the wafer surface, guides the alignment of the wafer relative to the spatially patterned radiation. Based on such information, a translatable stage supporting the photoresist-coated wafer moves the wafer such that the radiation will expose the correct location of the wafer.

During exposure, a radiation source illuminates a patterned reticle, which scatters the radiation to produce the spatially patterned radiation. The reticle is also referred to as a mask, and these terms are used interchangeably below. In the case of reduction lithography, a reduction lens collects the scattered radiation and forms a reduced image of the reticle pattern. Alternatively, in the case of proximity printing, the scattered radiation propagates a small distance (typically on the order of microns) before contacting the wafer to produce a 1:1 image of the reticle pattern. The radiation initiates photo-chemical processes in the resist that convert the radiation pattern into a latent image within the resist.

Interferometry systems are important components of the positioning mechanisms that control the position of the wafer and reticle, and register the reticle image on the wafer. If such interferometry systems include the features described above, the accuracy of distances measured by the systems increases as cyclic error contributions to the distance measurement are minimized.

In general, the lithography system, also referred to as an exposure system, typically includes an illumination system and a wafer positioning system. The illumination system includes a radiation source for providing radiation such as ultraviolet, visible, x-ray, electron, or ion radiation, and a reticle or mask for imparting the pattern to the radiation, thereby generating the spatially patterned radiation. In addition, for the case of reduction lithography, the illumination system can include a lens assembly for imaging the spatially patterned radiation onto the wafer. The imaged radiation exposes resist coated onto the wafer. The illumination system also includes a mask stage for supporting the mask and a positioning system for adjusting the position of the mask stage relative to the radiation directed through the mask. The wafer positioning system

includes a wafer stage for supporting the wafer and a positioning system for adjusting the position of the wafer stage relative to the imaged radiation. Fabrication of integrated circuits can include multiple exposing steps. For a general reference on lithography, see, for example, J. R. Sheats and B. W. Smith, in *Microolithography: Science and Technology* (Marcel Dekker, Inc., New York, 1998), the contents of which is incorporated herein by reference.

Interferometers described above can be used with displacement measuring interferometry systems to precisely measure the positions of each of the wafer stage and mask stage relative to other components of the exposure system, such as the lens assembly, radiation source, or support structure. In such cases, the displacement measuring interferometry system can be attached to a stationary structure and the measurement object attached to a movable element such as one of the mask and wafer stages. Alternatively, the situation can be reversed, with the displacement measuring interferometry system attached to a movable object and the measurement object attached to a stationary object.

More generally, interferometry systems can be used to measure the position of any one component of the exposure system relative to any other component of the exposure system, in which the interferometry system is attached to, or supported by, one of the components and the measurement object is attached, or is supported by the other of the components.

An example of a lithography scanner 1100 using an interferometry system 1126 is shown in Fig. 7A. The interferometry system is used to precisely measure the position of a wafer (not shown) within an exposure system. Here, stage 1122 is used to position and support the wafer relative to an exposure station. Scanner 1100 includes a frame 1102, which carries other support structures and various components carried on those structures. An exposure base 1104 has mounted on top of it a lens housing 1106 atop of which is mounted a reticle or mask stage 1116, which is used to support a reticle or mask. A positioning system for positioning the mask relative to the exposure station is indicated schematically by element 1117. Positioning system 1117 can include, *e.g.*, piezoelectric transducer elements and corresponding control electronics. Although, it is not included in this described embodiment, an interferometry system including one or more of the

DPMIs described above can also be used to precisely measure the position of the mask stage as well as other moveable elements whose position must be accurately monitored in processes for fabricating lithographic structures (see *supra* Sheats and Smith *Microlithography: Science and Technology*).

Suspended below exposure base 1104 is a support base 1113 that carries wafer stage 1122. Stage 1122 includes a plane mirror 1128 for reflecting a measurement beam 1154 directed to the stage by interferometry system 1126. A positioning system for positioning stage 1122 relative to interferometry system 1126 is indicated schematically by element 1119. Positioning system 1119 can include, *e.g.*, piezoelectric transducer elements and corresponding control electronics. The measurement beam reflects back to the interferometry system, which is mounted on exposure base 1104. The interferometry system can include any of the DPMI embodiments described previously.

During operation, a radiation beam 1110, *e.g.*, an ultraviolet (UV) beam from a UV laser (not shown), passes through a beam shaping optics assembly 1112 and travels downward after reflecting from mirror 1114. Thereafter, the radiation beam passes through a mask (not shown) carried by mask stage 1116. The mask (not shown) is imaged onto a wafer (not shown) on wafer stage 1122 via a lens assembly 1108 carried in a lens housing 1106. Base 1104 and the various components supported by it are isolated from environmental vibrations by a damping system depicted by spring 1120.

In other embodiments of the lithographic scanner, an interferometry systems including one or more of the DPMIs described previously can be used to measure distance along multiple axes and angles associated for example with, but not limited to, the wafer and reticle (or mask) stages. Also, rather than a UV laser beam, other beams can be used to expose the wafer including, *e.g.*, x-ray beams, electron beams, ion beams, and visible optical beams.

In some embodiments, the lithographic scanner can include what is known in the art as a column reference. In such embodiments, the interferometry system 1126 includes an interferometer (*e.g.*, a DPMI) that directs the reference beam (not shown) along an external reference path that contacts a reference mirror (not shown) mounted on some structure that directs the radiation beam, *e.g.*, lens housing 1106. The reference mirror reflects the reference beam back to the interferometry system. The interference signal

produce by interferometry system 1126 when combining measurement beam 1154 reflected from stage 1122 and the reference beam reflected from a reference mirror mounted on the lens housing 1106 indicates changes in the position of the stage relative to the radiation beam. Furthermore, in other embodiments the interferometry system 1126 can be positioned to measure changes in the position of reticle (or mask) stage 1116 or other movable components of the scanner system. Finally, the interferometry systems can be used in a similar fashion with lithography systems involving steppers, in addition to, or rather than, scanners.

As is well known in the art, lithography is a critical part of manufacturing methods for making semiconducting devices. For example, U.S. Patent 5,483,343 outlines steps for such manufacturing methods. These steps are described below with reference to FIGS. 7B and 7C. FIG. 7B is a flow chart of the sequence of manufacturing a semiconductor device such as a semiconductor chip (*e.g.* IC or LSI), a liquid crystal panel or a CCD. Step 1151 is a design process for designing the circuit of a semiconductor device. Step 1152 is a process for manufacturing a mask on the basis of the circuit pattern design. Step 1153 is a process for manufacturing a wafer by using a material such as silicon.

Step 1154 is a wafer process which is called a pre-process wherein, by using the so prepared mask and wafer, circuits are formed on the wafer through lithography. To form circuits on the wafer that correspond with sufficient spatial resolution those patterns on the mask, interferometric positioning of the lithography tool relative the wafer is necessary. The interferometry methods and systems described herein can be especially useful to improve the effectiveness of the lithography used in the wafer process.

Step 1155 is an assembling step, which is called a post-process wherein the wafer processed by step 1154 is formed into semiconductor chips. This step includes assembling (dicing and bonding) and packaging (chip sealing). Step 1156 is an inspection step wherein operability check, durability check and so on of the semiconductor devices produced by step 1155 are carried out. With these processes, semiconductor devices are finished and they are shipped (step 1157).

FIG. 7C is a flow chart showing details of the wafer process. Step 1161 is an oxidation process for oxidizing the surface of a wafer. Step 1162 is a CVD process for

forming an insulating film on the wafer surface. Step 1163 is an electrode forming process for forming electrodes on the wafer by vapor deposition. Step 1164 is an ion implanting process for implanting ions to the wafer. Step 1165 is a resist process for applying a resist (photosensitive material) to the wafer. Step 1166 is an exposure process for printing, by exposure (i.e., lithography), the circuit pattern of the mask on the wafer through the exposure apparatus described above. Once again, as described above, the use of the interferometry systems and methods described herein improve the accuracy and resolution of such lithography steps.

Step 1167 is a developing process for developing the exposed wafer. Step 1168 is an etching process for removing portions other than the developed resist image. Step 1169 is a resist separation process for separating the resist material remaining on the wafer after being subjected to the etching process. By repeating these processes, circuit patterns are formed and superimposed on the wafer.

Interferometry systems described above can also be used in other applications in which the relative position of an object needs to be measured precisely. For example, in applications in which a write beam such as a laser, x-ray, ion, or electron beam, marks a pattern onto a substrate as either the substrate or beam moves, the interferometry systems can be used to measure the relative movement between the substrate and write beam.

As an example, a schematic of a beam writing system 1200 is shown in FIG. 8. A source 1210 generates a write beam 1212, and a beam focusing assembly 1214 directs the radiation beam to a substrate 1216 supported by a movable stage 1218. To determine the relative position of the stage, a displacement measuring interferometry system 1220 directs a reference beam 1222 to a mirror 1224 mounted on beam focusing assembly 1214 and a measurement beam 1226 to a mirror 1228 mounted on stage 1218. Since the reference beam contacts a mirror mounted on the beam focusing assembly, the beam writing system is an example of a system that uses a column reference. Interferometry system 1220 can include any of the interferometry systems described previously (e.g., used as a refractometer to measure changes in the refractive index of the atmosphere proximate to a measurement beam path of a displacement measuring interferometer of interferometry system 1220). Changes in the position measured by the interferometry system correspond to changes in the relative position of write beam 1212 on substrate

1216. Interferometry system 1220 sends a measurement signal 1232 to controller 1230 that is indicative of the relative position of write beam 1212 on substrate 1216.

Controller 1230 sends an output signal 1234 to a base 1236 that supports and positions stage 1218. In addition, controller 1230 sends a signal 1238 to source 1210 to vary the intensity of, or block, write beam 1212 so that the write beam contacts the substrate with an intensity sufficient to cause photophysical or photochemical change only at selected positions of the substrate.

Furthermore, in some embodiments, controller 1230 can cause beam focusing assembly 1214 to scan the write beam over a region of the substrate, *e.g.*, using signal 1244. As a result, controller 1230 directs the other components of the system to pattern the substrate. The patterning is typically based on an electronic design pattern stored in the controller. In some applications the write beam patterns a resist coated on the substrate and in other applications the write beam directly patterns, *e.g.*, etches, the substrate.

An important application of such a system is the fabrication of masks and reticles used in the lithography methods described previously. For example, to fabricate a lithography mask an electron beam can be used to pattern a chromium-coated glass substrate. In such cases where the write beam is an electron beam, the beam writing system encloses the electron beam path in a vacuum. Also, in cases where the write beam is, *e.g.*, an electron or ion beam, the beam focusing assembly includes electric field generators such as quadrupole lenses for focusing and directing the charged particles onto the substrate under vacuum. In other cases where the write beam is a radiation beam, *e.g.*, x-ray, UV, or visible radiation, the beam focusing assembly includes corresponding optics and for focusing and directing the radiation to the substrate.

A number of embodiments of the invention have been described. Nevertheless, it will be understood that various modifications may be made without departing from the spirit and scope of the invention. Accordingly, other embodiments are within the scope of the following claims.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. An apparatus comprising:

an interferometer comprising a main assembly comprising two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces, wherein the interfaces are positioned to receive two spatially separated beams and direct them each to make at least two passes to one or more remote objects,

wherein each interface reflects and transmits each beam at least once, and the interferometer is configured to combine the two beams after they make the at least two passes to the one or more remote objects to produce an output beam comprising information about an optical path length difference between paths traveled by the two beams.

2. An interferometer, comprising:

an input assembly comprising two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces; and

a main assembly comprising at least one polarizing beam splitter interface,

wherein the interfaces in the input assembly are positioned to derive two spatially separated beams from an input beam, the main assembly directs the spatially separated beams each to make at least two passes to one or more remote objects, and the input assembly combines the two beams after they make the at least two passes to the one or more remote objects to produce an output beam comprising information about an optical path length difference between paths traveled the two beams.

3. An apparatus, comprising

an interferometer assembly comprising an output surface, the interferometer assembly being configured to direct two spatially separated beams to make at least two passes to one or more remote objects,

wherein the spatially separated beams intersect the output surface at least once on each pass to the one or more remote objects and a surface normal of the output surface at each intersection is non-parallel with the respective beam path, and the interferometer

assembly is configured to combine the two beams after they make the at least two passes to the one or more remote objects to produce an output beam comprising information about an optical path length difference between paths traveled by the two beams.

4. The apparatus of claim 1, further comprising an input assembly configured to derive the spatially separated beams from an input beam and to direct the spatially separated beams towards the main assembly.

5. The apparatus of claim 4, wherein the input assembly is configured so that the spatially separated beams have orthogonal polarizations when exiting the input assembly.

6. The apparatus of claim 4, further comprising a wave plate between the input assembly and the main assembly, the wave plate being configured to rotate the polarization of one of the spatially separated beams as it travels between the input assembly and the main assembly.

7. The apparatus of claim 6, wherein the wave plate is a polymeric wave plate.

8. The apparatus of claim 4, wherein an output surface of the input assembly is optically coupled to an input surface of the main assembly.

9. The apparatus of claim 4, wherein the input assembly is configured to direct the two beams towards the main assembly along parallel paths.

10. The apparatus of claim 4, wherein the input assembly comprises two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces.

11. The apparatus of claim 10, wherein the two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces of the input assembly are parallel.

12. The apparatus of claim 10, wherein the two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces of the input assembly are non-parallel to the two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces of the main assembly.

13. The apparatus of claim 1, wherein the interferometer is configured so that the two spatially separated beams have the same polarization when they are received by the main assembly.

14. The apparatus of claim 1, wherein the main assembly is configured to direct the spatially separated beams to make at least two passes along parallel paths to the one or more remote objects.

15. The apparatus of claim 1, further comprising a retroreflector configured to direct the spatially separated beams back towards the main assembly after each beam makes its first pass to the one or more remote objects.

16. The apparatus of claim 1, wherein the interferometer is configured so that each of the spatially separated beams makes at least two passes to different locations on the one or more remote objects.

17. The apparatus of claim 1, wherein the laterally displaced polarizing beam splitter interfaces are parallel.

18. The apparatus of claim 1, wherein the main assembly is monolithic.

19. The apparatus of claim 1, further comprising an output surface configured so that the spatially separated beams intersect the output surface at least once and a surface normal of the output surface at each intersection is non-parallel with the respective beam path.

20. The apparatus of claim 19, wherein an angle between each surface normal and the respective beam path is about 0.1° or more.

21. The apparatus of claim 19, wherein an angle between each surface normal and the respective beam path is about 10° or less.

22. The apparatus of claim 19, wherein the output assembly comprises a wedge.

23. The apparatus of claim 19, further comprising a quarter wave plate positioned between the main assembly and the output assembly.

24. The apparatus of claim 23, wherein the quarter wave plate is a polymeric quarter wave plate.

25. The apparatus of claim 19, wherein the output assembly is optically coupled to the main assembly.

26. The apparatus of claim 1, further comprising a detector positioned to receive the output beam.

27. The apparatus of claim 1, further comprising a source configured to provide an input beam from which the interferometer derives the spatially separated beams.

28. The apparatus of claim 1, wherein the one or more remote objects comprises of a reflecting element.

29. The apparatus of claim 28, wherein the reflecting element is a plane mirror.

30. The apparatus of claim 28, wherein the reflecting element is a retroreflector.

31. A refractometer comprising the apparatus of claim 1.

32. A method, comprising:

using an interferometer to direct two spatially separated beams to each make at least two passes to one or more remote objects, wherein the interferometer comprises two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces positioned to receive the two beams and each interface reflects and transmits each beam at least once; and

combining the two beams after they make the at least two passes to the one or more remote objects to produce an output beam comprising information about an optical path length difference between the two beams.

33. A lithography system for use in fabricating integrated circuits on a wafer, the system comprising:

a stage for supporting the wafer;

an illumination system for imaging spatially patterned radiation onto the wafer;

a positioning system for adjusting the position of the stage relative to the imaged radiation; and

an interferometry system comprising the apparatus of claim 1, the interferometry system being configured to monitor the position of the wafer relative to the imaged radiation.

34. A lithography system for use in fabricating integrated circuits on a wafer, the system comprising:

a stage for supporting the wafer; and

an illumination system including a radiation source, a mask, a positioning system, a lens assembly, and an interferometry system comprising the apparatus of claim 1,

wherein during operation the source directs radiation through the mask to produce spatially patterned radiation, the positioning system adjusts the position of the mask

relative to the radiation from the source, the lens assembly images the spatially patterned radiation onto the wafer, and the interferometry system monitors the position of the mask relative to the radiation from the source.

35. A beam writing system for use in fabricating a lithography mask, the system comprising:

- a source providing a write beam to pattern a substrate;
 - a stage supporting the substrate;
 - a beam directing assembly for delivering the write beam to the substrate;
 - a positioning system for positioning the stage and beam directing assembly relative one another; and
- an interferometry system comprising the apparatus of claim 1, the interferometry system being configured to monitor the position of the stage relative to the beam directing assembly.

36. A lithography method for use in fabricating integrated circuits on a wafer, the method comprising:

- supporting the wafer on a moveable stage;
- imaging spatially patterned radiation onto the wafer;
- adjusting the position of the stage; and
- monitoring the position of the stage using an interferometry system comprising the apparatus of claim 1.

37. A lithography method for use in the fabrication of integrated circuits comprising:

- directing input radiation through a mask to produce spatially patterned radiation;
- positioning the mask relative to the input radiation;
- monitoring the position of the mask relative to the input radiation using an interferometry system comprising the apparatus of claim 1; and
- imaging the spatially patterned radiation onto a wafer.

38. A lithography method for fabricating integrated circuits on a wafer comprising:

positioning a first component of a lithography system relative to a second component of a lithography system to expose the wafer to spatially patterned radiation; and

monitoring the position of the first component relative to the second component using an interferometry system comprising the apparatus of claim 1.

39. A method for fabricating integrated circuits, the method comprising the lithography method of claim 36.

40. A method for fabricating integrated circuits, the method comprising the lithography method of claim 37.

41. A method for fabricating integrated circuits, the method comprising the lithography method of claim 38.

42. A method for fabricating integrated circuits, the method comprising using the lithography system of claim 35.

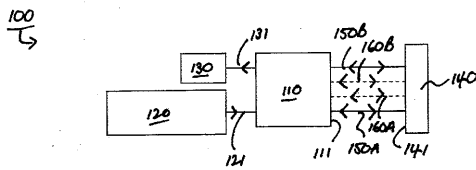
43. A method for fabricating integrated circuits, the method comprising using the lithography system of claim 36.

44. A method for fabricating a lithography mask, the method comprising:
directing a write beam to a substrate to pattern the substrate;
positioning the substrate relative to the write beam; and
monitoring the position of the substrate relative to the write beam using an interferometry system comprising the apparatus of claim 1.

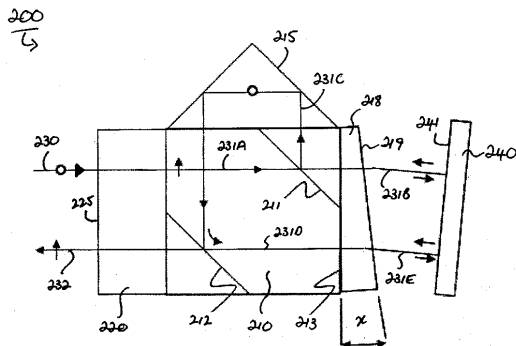
ABSTRACT

In general, in one aspect, the invention features apparatus that include an interferometer including a main assembly having two laterally displaced polarizing beam splitter interfaces, wherein the interfaces are positioned to receive two spatially separated beams and direct them each to make at least two passes to one or more remote objects. Each interface reflects and transmits each beam at least once, and the interferometer is configured to combine the two beams after they make the at least two passes to the one or more remote objects to produce an output beam including information about an optical path length difference between paths traveled by the two beams.

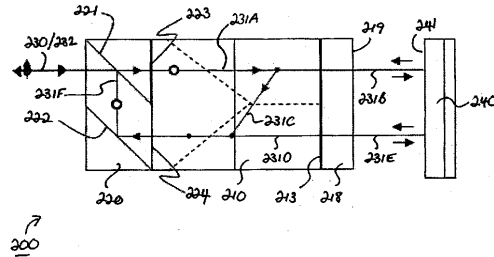
【図 1】



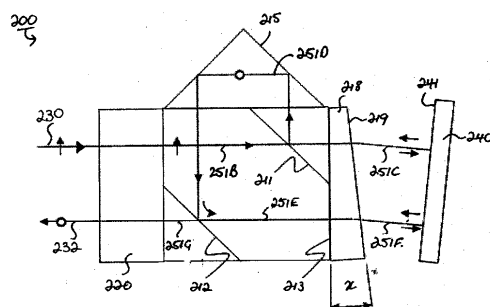
【図 2 A】



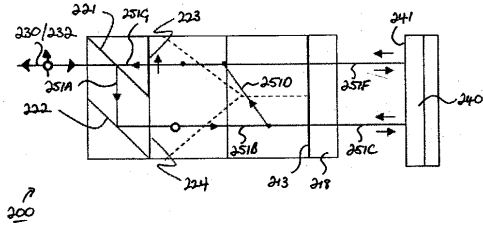
【図 2 B】



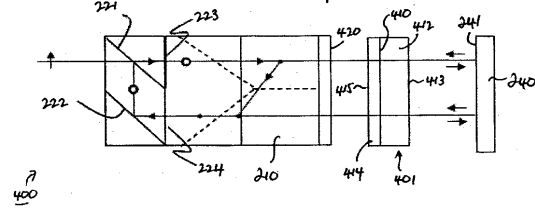
【図 3 A】



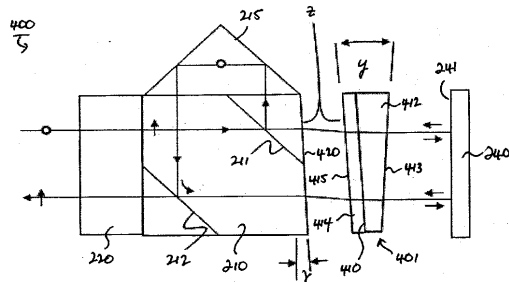
【図 3 B】



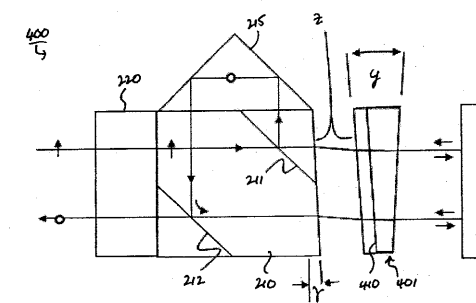
【図 4 B】



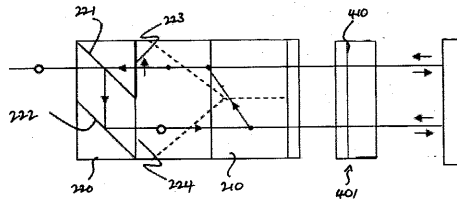
【図 4 A】



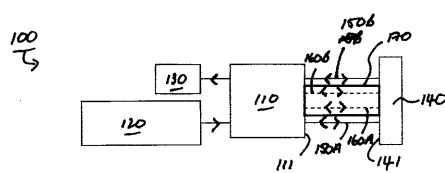
【図 5 A】



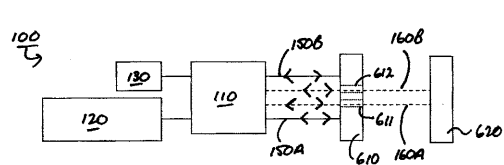
【図 5 B】



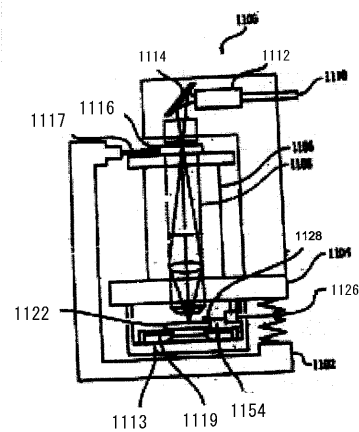
【図 6 A】



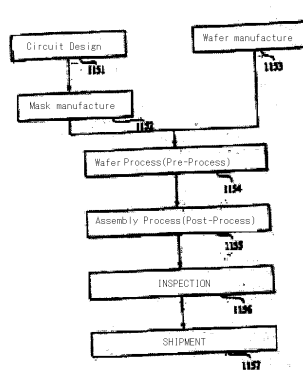
【図 6 B】



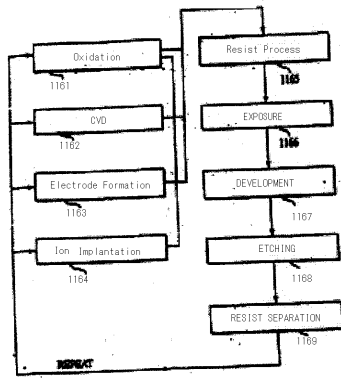
【図 7 A】



【図 7 B】



【図 7 C】



【図 8】

