(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3600881号
(P3600881)
(45)発行日　平成16年12月15日(2004.12.15)　(24)登録日　平成16年10月1日(2004.10.1)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G01B 9/02　G01B 9/02

請求項の数 10　(全 19 頁)

(21)出願番号　特願平6-273424
(22)出願日　平成6年11月8日(1994.11.8)
(65)公開番号　特開平8-86608
(43)公開日　平成8年4月2日(1996.4.2)
審査請求日　平成13年11月2日(2001.11.2)
(31)優先権主張番号　特願平5-331191
(32)優先日　平成5年12月27日(1993.12.27)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願平6-167831
(32)優先日　平成6年7月20日(1994.7.20)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号
(74)代理人　100098165
弁理士　大森　聡
(72)発明者　山崎　茂
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社ニコン内
(72)発明者　末吉　正史
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社ニコン内

審査官　山下　雅人

最終頁に続く

(54)【発明の名称】干渉計及びステージ装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
主光ビームを供給する光源と、
前記主光ビームを第１光ビーム及び第２光ビームに分割する光分岐手段と、
前記第１光ビーム及び前記第２光ビームをそれぞれ反射する第１反射手段及び第２反射手段と、
前記第１反射手段により反射された前記第１光ビームと前記第２反射手段により反射された前記第２光ビームとを合成する光合成手段と、
該光合成手段により合成された光ビームを受光する光電変換手段と、を有し、
該光電変換手段からの光電変換信号に基づいて前記第１反射手段と前記第２反射手段との相対的な変位を検出する干渉計において、
前記第２反射手段は、該第２反射手段に入射する前記第２光ビームに平行な第１方向に変位可能であるとともに、前記第２反射手段は、該第２反射手段で反射された前記第２光ビームを前記光電変換手段上でずれさせる第２方向にも変位可能であり、
前記光源と前記光電変換手段との間の光ビームの光路上の少なくとも一部で、前記主光ビーム、前記第１光ビーム、及び前記第２光ビームのうちの少なくとも１つの光ビームの断面の光強度分布を、前記第２方向における前記第２反射手段の変位によって前記第２光ビームが前記光電変換手段上でずれるずれ方向に沿った分布と、前記ずれ方向と直交する方向に沿った分布とで異ならせることによって、前記少なくとも１つの光ビームの断面の光強度分布を該光強度分布の中心に関して非対称な分布に設定する非対称変換手段を備えた

ことを特徴とする干渉計。
【請求項２】
前記非対称変換手段は、前記光源と前記光電変換手段との間の光路上に配置されたアナモルフィック・プリズムであることを特徴とする請求項１記載の干渉計。
【請求項３】
前記非対称変換手段は、前記光源と前記光電変換手段との間の光路上に配置された１対のシリンドリカルレンズであることを特徴とする請求項１記載の干渉計。
【請求項４】
前記非対称変換手段を、前記光源と前記光分岐手段との間に配置したことを特徴とする請求項１、２又は３記載の干渉計。
【請求項５】
前記光源として前記主光ビームを光強度分布が非対称の状態で発生する非対称光源を使用し、該非対称光源が前記非対称変換手段を兼用することを特徴とする請求項１記載の干渉計。
【請求項６】
前記非対称変換手段は、前記光源から供給される主光ビーム、前記第１光ビーム、及び前記第２光ビームよりなる光ビーム群から選ばれた少なくとも１つの光ビームの断面形状を、前記ずれ方向の長さに対して前記ずれ方向に直交する方向の長さが短くなるようにすることを特徴とする請求項１～５のいずれか一項に記載の干渉計。
【請求項７】
前記第２方向における前記第２反射手段の変位は、前記第１方向と直交する軸の回りにおける前記第２反射手段の回転方向の変位であることを特徴とする請求項１～６のいずれか一項に記載の干渉計。
【請求項８】
前記合成された光ビームが前記光電変換手段に入射する前に、前記合成された光ビームの断面形状を変更する変更手段をさらに有することを特徴とする請求項１～７のいずれか一項に記載の干渉計。
【請求項９】
前記非対称変換手段により非対称に設定された前記第１ビームと前記第２ビームとのうちの少なくとも一方の光強度分布を、前記第１反射手段と前記第２反射手段とのいずれかに反射された後に該光強度分布の中心に関して対称な分布に再変換する変換手段を有することを特徴とする請求項１～８のいずれか一項に記載の干渉計。
【請求項１０】
載置テーブルと、前記載置テーブルを２次元平面内で移動可能なステージと、を有するステージ装置であって、
請求項１～９のいずれか一項に記載の干渉計を備え、
前記第１反射手段は、固定鏡であり、前記第２反射手段は、前記載置テーブル上に設けられた移動鏡であり、
前記干渉計は、前記載置テーブルが移動したときの前記２次元平面内の座標位置を検出することを特徴とするステージ装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、レーザ干渉計等の干渉計に関し、例えば半導体製造用の露光装置や精密測定器のステージの移動量等を高精度に計測するために使用して好適なものである。
【０００２】
【従来の技術】
例えば半導体製造用の露光装置においては、感光基板を高精度に位置決めするためのＸＹステージが使用され、このＸＹステージの座標位置を高精度に計測するためにレーザ干渉計が設けられている。また、精密測定器や超精密な工作機械等においても、測定対象物の

位置決めを行うステージの座標位置を計測するためにレーザ干渉計が備えられていることがある。

【０００３】

図１２は、従来のレーザ干渉計を備えたステージ装置を示し、この図１２において、Ｈｅ－Ｎｅレーザ光源等のレーザ光源１から射出された断面形状が円形のレーザビームＬが、偏光ビームスプリッタ２に入射する。レーザビームＬには、偏光方向が直交する２つの偏光成分が混じっており、入射面に垂直な方向に偏光した成分、即ちＳ偏光成分が偏光ビームスプリッタ２により反射されて、参照ビームＬＲとして１／４波長板３Ｒを介して固定鏡４に向かう。それら２つの偏光成分の間に僅かな周波数差を付与するのが、ヘテロダイン干渉法であり、周波数差を付与しないのがホモダイン法であるが、その何れでも使用できる。参照ビームＬＲは、参照鏡４に反射された後、１／４波長板３Ｒを経てＰ偏光として偏光ビームスプリッタ２を透過して、検光子及び光電変換素子を含むレシーバ７に入射する。

【０００４】

一方、レーザビームＬの内で、入射面に平行な方向に偏光したＰ偏光成分は、偏光ビームスプリッタ２を透過して、測定ビームＬＭとして１／４波長板３Ｍを介して移動鏡５に向かう。移動鏡５は、測定ビームＬＭの光軸に平行なＹ軸に沿って移動自在に構成されたステージ６の一端に固定されている。移動鏡５に反射された測定ビームＬＭは、１／４波長板３Ｍを介してＳ偏光として偏光ビームスプリッタ２に反射された後、参照ビームＬＲとほぼ同軸にレシーバ７に入射する。レシーバ７では、参照ビームＬＲと測定ビームＬＭとの干渉光を光電変換することにより、例えば移動鏡５のＹ方向への移動量に応じた計数パルスを生成し、この計数パルスを積算することにより、移動鏡５のＹ軸に沿った移動量が計測される。

【０００５】

このように移動鏡５の移動量をレーザ干渉計により計測するには、レシーバ７の受光部において、測定ビームＬＭと参照ビームＬＲとが重なる干渉領域が存在しなければならない。

これに関して、移動鏡５の位置計測中に、ステージ６の移動部、ひいては移動鏡５を傾ける必要が生じた場合、図１３に示すように、移動鏡５の傾斜により反射される測定ビームＬＭの位置がずれるようになる。この位置ずれにより、レシーバ７の受光部での干渉領域の面積が縮小すると、干渉光の光電変換信号の信号強度（ＳＮ比）が小さくなり、その信号強度が光電変換素子の検出感度以下になると、正確な移動量の計測ができなくなる。

【０００６】

また、測定ビームＬＭの直径（大きさ）に関係なく、移動鏡５が所定角度傾斜したときの測定ビームＬＭの横ずれ量は一定である。そのため、移動鏡５の傾斜の影響を低減するためには、測定ビームＬＭ及び参照ビームＬＲの直径を大きくすればよい。そこで、従来はレーザ光源１から射出されるレーザビームＬのビーム径を大きくして、移動鏡５が傾斜できる範囲（傾斜角のストローク）を所望の範囲まで確保していた。

【０００７】

図１４は、図１３のレシーバ７の受光部における円形の参照ビームＬＲと円形の測定ビームＬＭとの重なりの状態を示し、この図１４において、各ビームの強度分布が均等であると仮定し、測定ビームＬＭと参照ビームＬＲとが完全に重なったときの干渉光の光電変換により得られる信号強度を１とする。そして、測定ビームＬＭ及び参照ビームＬＲの半径をｒとして、参照ビームＬＲと測定ビームＬＭとがｔだけずれたときの、信号強度Ｉ（ｔ）は次式で表される。

【０００８】

【数１】

$$I(t)=2(\theta-\sin\theta\cos\theta)/\pi$$

但し、$\theta=\cos^{-1}(t/(2r))$，$0\leqq\theta\leqq\pi/2$

この式から、ビーム径（２ｒ）を大きくすることによって、同じずれ量ｔでも干渉光の信

号強度の減少を抑えられることが分かる。たとえレーザ光源１の出力がビーム径に拘らず等しい場合でも、レーザ干渉計のレシーバ７の検出感度が或る値を取るときに、許される測定ビームＬＭの横ずれ量はビーム径ｒが大きくなる程大きい。

【０００９】

なお、図１２のレーザ干渉計はシングルパス方式の干渉計の例であるが、実際にはシングルパス方式の干渉計では、移動鏡５を傾けると測定ビームＬＭの波面と参照ビームＬＲの波面との間に傾きが生じ、干渉信号のＳＮ比が極端に低下するため、移動鏡５が大きく傾く条件下で使用することは困難である。そこで、一般に、移動鏡に傾きが生じて測定ビームと参照ビームとの間に横ずれが生じても、両ビームの波面間に傾きが生じないダブルパス方式の干渉計が使用される。ダブルパス方式では、偏光ビームスプリッタと固定鏡との間、及び偏光ビームスプリッタと移動鏡との間をそれぞれ参照ビーム及び測定ビームが２往復する。このように、１回目に往復した参照ビーム及び測定ビームを、それぞれ再び往復させるためにコーナーキューブが使用されている。

【００１０】

図１５（ａ）は、ダブルパス方式のレーザ干渉計で使用される直径φ１のコーナキューブ８を示し、この図１５（ａ）において、１回目に往復した参照ビームＬＲ１及び測定ビームＬＭ１が、コーナキューブ８に入射している。入射した２つのビームは、コーナキューブ８より反射されてそれぞれ２回目の往復を行う参照ビームＬＲ２及び測定ビームＬＭ２として偏光ビームスプリッタに向かう。１回目の往復を行うビームと２回目の往復を行うビームとの間隔はＷ１に設定されている。

【００１１】

【発明が解決しようとする課題】

上記の如く従来のレーザ干渉計においては、レーザビームのビーム径を大きくすることにより、移動鏡の傾斜による測定ビームの横ずれの影響を低減させていた。しかしながら、単にレーザビームのビーム径を大きくする方式では、そのビーム径の増大に伴い、レーザ干渉計を構成する光学部品が大きくなってしまう。このように光学部品が大きくなると、干渉計が全体として大型化し、種々のステージ等への組み込みが困難になるという不都合がある。

【００１２】

また、図１５（ａ）のようなコーナキューブ８を使用するダブルパス方式の干渉計においては、ダブルパスの２つの光ビームの間隔Ｗ１が大きいと、コーナキューブ８の外径を大きくする必要があるので、光学部品の小型化のためには、ビーム間隔Ｗ１はできるだけ小さいほうが良い。また、ダブルパス方式において、移動鏡の傾斜による測定ビームの横ずれの影響を低減させるため、図１５（ｂ）の参照ビームＬＲ３及びＬＲ４で示すように、ビーム間隔Ｗ１を変えずにビーム径を大きくすると、ビームＬＲ３及びＬＲ４がコーナキューブ８の稜線（光軸を中心として反射面を３等分している線）、及び輪郭線にかかってしまう。

【００１３】

このように稜線にかかった場合でも、理想的なコーナキューブでは問題ないが、実際には稜線には幅がある。また、稜線を挟むコーナキューブの反射面の直角度に誤差が存在することもあるため、これらの影響によりコーナキューブからのレーザビームの波面が乱れ、測定に影響を与える可能性もある。従って、図１５（ｃ）に示すように、直径φ２の大きなコーナキューブ９を使用し、例えば参照ビームＬＲ３及びＬＲ４が稜線及び輪郭線にかからないようなビーム間隔Ｗ２を設定することが望ましい。しかしながら、これではビーム間隔Ｗ２が広くなり、上述のようにビーム間隔の狭い方が望ましいという条件に反する結果になってしまう。また、直径の大きなコーナキューブ９を使用する必要があるなど、光学部品の大型化を伴う。これはコスト増大の要因となり、また、干渉計が全体として大型化し、ステージ等への組み込みが困難となる。

【００１４】

本発明は斯かる点に鑑み、使用する光学部品を大型化することなく、参照ビームと測定ビ

ームとの所定の方向へのずれ量の許容値を従来より大きくできる干渉計を提供することを目的とする。更に、本発明は、ダブルパス方式の干渉計に適用した場合に、ダブルパスのビーム間隔を広くすることなく、参照ビームと測定ビームとの所定の方向へのずれ量の許容値を従来より大きくすることを目的とする。

【００１５】

【課題を解決するための手段】

本発明による干渉計は、例えば図１～図３に示す如く、主光ビーム（Ｌ）を供給する光源（１１）と、その主光ビームを第１光ビーム（ＭＲ１，ＭＲ２）及び第２光ビーム（ＭＭ１，ＭＭ２）に分割する光分岐手段（２６）と、それら第１光ビーム及び第２光ビームをそれぞれ反射する第１反射手段（２８）及び第２反射手段（１４）と、第１反射手段（２８）により反射された第１光ビームと第２反射手段（１４）により反射された第２光ビームとを合成する光合成手段（２６）と、この光合成手段により合成された光ビームを受光する光電変換手段（１９）とを有し、光電変換手段（１９）からの光電変換信号に基づいて第１反射手段（２８）と第２反射手段（１４）との相対的な変位を検出する干渉計において、第２反射手段（１４）は、該第２反射手段に入射する第２光ビーム（ＭＭ１，ＭＭ２）に平行な第１方向（Ｙ方向）に変位可能であるとともに、第２反射手段（１４）は、該第２反射手段で反射された第２光ビーム（ＭＭ１，ＭＭ２）を光電変換手段（１９）上でずれさせる第２方向（Ｘ方向、θｘ方向、θｚ方向）にも変位可能であり、光源（１１）と光電変換手段（１９）との間の光ビームの光路上の少なくとも一部で、主光ビーム（Ｌ）、第１光ビーム（ＭＲ１，ＭＲ２）、及び第２光ビーム（ＭＭ１，ＭＭ２）のうちの少なくとも１つの光ビームの断面の光強度分布を、その第２方向における第２反射手段（１４）の変位によって第２光ビーム（ＭＭ１，ＭＭ２）が光電変換手段（１９）上でずれるずれ方向に沿った分布と、そのずれ方向と直交する方向に沿った分布とで異ならせることによって、その少なくとも１つの光ビームの断面の光強度分布をこの光強度分布の中心に関して非対称な分布に設定する非対称変換手段（１２）を備えたものである。

【００１６】

この場合、その非対称変換手段の一例は、光源（１１）と光電変換手段（１９）との間の光路上に配置された１個又は複数個のアナモルフィック・プリズム（２４，２５）である。アナモルフィック・プリズムとは、入射する光ビームの断面内の異なる２方向において、互いに偏向角の異なるプリズムをいう。

また、その非対称変換手段の他の例は、光源（１１）と光電変換手段（１９）との間の光路上に配置された１対のシリンドリカルレンズ（５１Ａ，５１Ｂ）である。

【００１７】

更に、光源（１１）から光強度分布が対称の主光ビーム（Ｌ）が射出される場合、その非対称変換手段は、光源（１１）と光分岐手段（２６）との間に配置することが望ましい。但し、その光源としてその主光ビームを光強度分布が非対称の状態で発生する非対称光源（４０，４１）を使用し、この非対称光源でその非対称変換手段を兼用させてもよい。

また、非対称変換手段（１２）は、光源（１１）から供給される主光ビーム（Ｌ）、第１光ビーム（ＭＲ１，ＭＲ２）、及び前記第２光ビーム（ＭＭ１，ＭＭ２）よりなる光ビーム群から選ばれた少なくとも１つの光ビームの断面形状を、そのずれ方向の長さに対して、そのずれ方向に直交する方向の長さが短くなるようにするものとすることができる。また、その第２方向における第２反射手段（１４）の変位は、その第１方向（Ｙ方向）と直交する軸（Ｘ軸、Ｚ軸）の回りにおける第２反射手段（１４）の回転方向（θｘ方向、θｚ方向）の変位とすることができる。また、合成された光ビームが光電変換手段（１９）に入射する前に、合成された光ビームの断面形状を変更する変更手段をさらに設けてもよい。更に、非対称変換手段（１２）により非対称に設定された第１ビーム（ＭＲ１，ＭＲ２）と第２ビーム（ＭＭ１，ＭＭ２）とのうちの少なくとも一方の光強度分布を、第１反射手段（２８）と第２反射手段（１４）とのいずれかに反射された後に該光強度分布の中心に関して対称な分布に再変換する変換手段（４６Ｃ，４６Ｄ）を有するものとすることもできる。

次に、本発明によるステージ装置は、載置テーブル（１５）と、その載置テーブルを２次元平面内で移動可能なステージ（１７Ｘ，１７Ｙ）と、を有するステージ装置であって、本発明の干渉計を備え、その第１反射手段は、固定鏡（２８）であり、その第２反射手段は、その載置テーブル上に設けられた移動鏡（１４）であり、その干渉計は、その載置テーブルが移動したときのその２次元平面内の座標位置を検出するものである。

【００１８】

【作用】

斯かる本発明の原理につき図１を参照して説明する。座標系として、第２反射手段（１４）に入射する第２光ビーム（ＭＭ１等）に平行にＹ軸を取り、Ｙ軸に垂直な２次元平面内の直交座標系をＸ軸及びＹ軸とする。また、第２反射手段（１４）として、Ｙ方向に移動するＹステージ（１７Ｙ）上に固定された移動鏡（１４）を想定し、Ｙステージ（１７Ｙ）の移動量を検出するものとする。

【００１９】

この場合、移動鏡（１４）が傾いたときの第２光ビーム（ＭＭ１等）のずれの方向は、移動鏡（１４）の反射面の法線ベクトルの第２光ビーム（ＭＭ１等）の光軸と垂直な面への射影により表される。また、実際の光ビームのずれ量は、移動鏡（１４）と干渉光の光電変換手段（１９）との距離によって決まる比例定数を、その法線ベクトルの射影のずれ量に掛け合わせることによって求まる。

【００２０】

例えば図１において、或る状態での移動鏡（１４）の（Ｘ，Ｙ，Ｚ）座標系での法線ベクトルを（ｂ，１，ａ）とし、移動鏡（１４）から干渉光の光電変換手段（１９）までの距離をＴとすると、移動鏡（１４）のずれ方向ベクトルは（ｂ，０，ａ）となる。干渉光の光電変換手段（１９）の位置での光ビームのずれ量を示すベクトルは、２Ｔ（ｂ，０，ａ）となる。

【００２１】

ここで、移動鏡（１４）の回転量が、Ｘ軸、Ｙ軸、及びＺ軸の回りに、順に微小角ｄθ変化したとすると、法線ベクトルはそれぞれ次のようになる。

【００２２】

【数２】

（ｂ，ｃｏｓ　ｄθ－ａｓｉｎ　ｄθ，ｓｉｎ　ｄθ＋ａｃｏｓ　ｄθ），
（ａｓｉｎ　ｄθ＋ｂｃｏｓ　ｄθ，１，ａｃｏｓ　ｄθ－ｂｓｉｎ　ｄθ），
（ｓｉｎ　ｄθ＋ｂｃｏｓ　ｄθ，ｃｏｓ　ｄθ－ｂｓｉｎ　ｄθ，ａ）

これは、ｄθについての２次以上の項を省略すると、次のように表せる。

【００２３】

【数３】

（ｂ，１－ａｄθ，ａ＋ｄθ），
（ｂ＋ａｄθ，１，ａ－ｂｄθ），
（ｂ＋ｄθ，１－ｂｄθ，ａ）

よって、このときの光電変換手段（１９）における光ビームのずれ量の変化量はそれぞれ次のようになる。但し、シングルパス方式であると仮定している。

【００２４】

【数４】

２Ｔ（０，０，ｄθ），
２Ｔ（ａｄθ，０，－ｂｄθ），
２Ｔ（ｄθ，０，０）

そして、移動鏡（１４）が或る方向に傾いた場合の第２光ビーム（ＭＭ１等）のずれ量は、これらのベクトル和により求めることができる。

【００２５】

移動鏡（１４）は原則として入射する第２光ビーム（測定ビーム）（ＭＭ１）に垂直であるため、移動鏡（１４）の傾き角が微小である場合は、ａ≪１、且つｂ≪１と考えること

ができる。よって、移動鏡（１４）の第２光ビーム（ＭＭ１等）に平行なＹ軸回りの回転によって生じる光ビームのずれ量は、第２光ビーム（ＭＭ１等）に垂直な軸（Ｘ軸、Ｚ軸）回りの回転によって生じるずれ量に比べて非常に小さい。

【００２６】

図１の干渉計で、移動鏡（１４）が搭載されているテーブル（１５）に対して例えばアオリ調整を行った場合、移動鏡（１４）はＸ軸の回り、又はＹ軸の回りには回転する可能性があるが、Ｚ軸の回りには回転しない。一方、ヨーイング調整を行った場合は、移動鏡（１４）にはＺ軸の回りの回転のみが生ずる。

これに関して、本発明では、移動鏡（１４）が固定されているテーブル（１５）に対して例えばアオリ調整、又はヨーイング調整の一方のみを施す場合を扱っている。例えばアオリ調整のみを施す場合、移動鏡（１４）はＸ軸又はＹ軸の回りに回転するのみであり、第２光ビーム（ＭＭ１等）はＺ方向のみに大きくずれるようになる。逆に、ヨーイング調整のみを施す場合、移動鏡（１４）はＺ軸の回りに回転するのみであり、第２光ビーム（ＭＭ１）はＸ方向のみに大きくずれるようになる。

【００２７】

そこで、本発明では、第２光ビーム（測定ビーム）（ＭＭ１等）がＺ方向のみに大きくずれるような場合には、例えば光源（１１）からの光ビーム（Ｌ）を図２に示す光ビーム（Ｍ）のようにＺ方向に引き伸ばした非対称形状にする。これにより、その第２光ビームがＺ方向に従来と同じ量だけずれても、ずれの影響は従来より少なくなる。一方、例えば図７に示すように、第２光ビーム（ＮＭ１等）がＸ方向のみに大きくずれるような場合には、光源（１１）からの光ビームをＸ方向に引き伸ばした非対称形状にする。これにより、その第２光ビームがＸ方向に従来と同じ量だけずれても、ずれの影響は従来より少なくなる。

【００２８】

また、例えば図２に示すように、非対称変換手段として、アナモルフィック・プリズム（２４，２５）を使用した場合、光源（１１）から供給される光ビーム（Ｌ）の断面形状をアナモルフィック・プリズム（２４，２５）によりその所定の方向（Ｚ方向）に引き伸ばすと、収差が無い状態で光ビーム（Ｌ）の断面形状を非対称にすることができる。

【００２９】

更に、非対称変換手段として、１対のシリンドリカルレンズを使用した場合、光源（１１）から供給される光ビーム（Ｌ）は、入射時と同じ光軸上で断面形状を所望の方向に伸縮できる。

また、非対称変換手段を光源（１１）と光分岐手段（２６）との間に配置した場合には、その後の第１光ビーム及び第２光ビーム等の断面の光強度分布が全て非対称となる。

【００３０】

また、光源として、例えばレーザダイオードのように光強度分布が非対称の状態の主光ビームを発生する非対称光源（４０，４１）を使用すると、これが非対称変換手段を兼用するため、その非対称光源から光電変換手段（１９）までの全ての光路上で光ビームの断面の光強度分布が非対称になる。

【００３１】

【実施例】

以下、本発明による干渉計の第１実施例につき図１～図４を参照して説明する。本実施例は、レベリング機構（チルト機構）を備えたステージ装置に装着される座標計測用の、且つダブルパス方式のレーザ干渉計に本発明を適用したものである。

【００３２】

図１は本実施例のレーザ干渉計を備えたステージ装置を示し、この図１において、Ｈｅ－Ｎｅレーザ光源等のレーザ光源１１から射出された断面形状が円形のレーザビームＬが、非対称のビームエクスパンダ１２を経て断面形状がＺ軸に平行な方向に長い楕円のレーザビームＭとなってＹ軸用の干渉測定部１３に入射する。干渉測定部１３から射出された測定ビームＭＭ１が、Ｚ軸に直交するＹ軸に平行にＬ字型の移動鏡１４に入射する。Ｚ軸及

びＹ軸より形成される平面に垂直にＸ軸を取る。

【００３３】

移動鏡１４はＹ軸にほぼ垂直な反射面、及びＸ軸にほぼ垂直な反射面を有し、測定ビームＭＭ１はそのＹ軸にほぼ垂直な反射面に入射する。移動鏡１４により反射された測定ビームＭＭ１は干渉測定部１３に戻り、干渉測定部１３で更に反射された測定ビームＭＭ２がＹ軸にほぼ平行に移動鏡１４に入射する。そして、移動鏡１４により反射された測定ビームＭＭ２が、干渉測定部１３に戻り、この測定ビームＭＭ２が内部で生成された参照ビームＭＲ２と共に、干渉光としてＹ軸にほぼ平行に、検光子及び光電変換素子を有するレシーバ１９に入射する。

【００３４】

移動鏡１４は、ウエハ等を載置するための載物テーブル１５上に固定され、載物テーブル１５は３個のそれぞれＺ方向に伸縮自在な支点１６Ａ～１６Ｃよりなるレベリング機構（チルト機構）を介して、Ｘステージ１７Ｘ上に載置され、Ｘステージ１７ＸはＸ軸に沿って移動自在にＹステージ１７Ｙ上に載置され、Ｙステージ１７Ｙは、Ｙ軸に沿って移動自在にベース１８上に載置されている。レーザ光源１１、ビームエクスパンダ１２、干渉測定部１３、移動鏡１４、及びレシーバ１９により載物テーブル１５のＹ方向への移動量が計測される。

【００３５】

同様に、Ｘ軸用のレーザ光源２０からのレーザビームがビームエクスパンダ２１によりＺ方向に引き伸ばされてＸ軸用の干渉測定部２２に入射し、干渉測定部２２から射出された測定ビームが移動鏡１４のＸ軸にほぼ垂直な反射面に向かい、その反射面で反射された測定ビームが干渉測定部２２に戻る。そして、干渉測定部２２で反射された測定ビームが再び移動鏡１４に向かい、移動鏡１４により再び反射された測定ビームが、干渉測定部２２内で参照ビームと合成されてレシーバ２３に入射する。レーザ光源２０、ビームエクスパンダ２１、干渉測定部２２、移動鏡１４、及びレシーバ２３により、載物テーブル１５のＸ方向への移動量が計測される。

【００３６】

図２（ｂ）は、図１中の非対称なビームエクスパンダ１２の構成例を示し、この図２（ｂ）において、図１中のレーザ光源１１から入射するレーザビームＬの断面形状は図２（ａ）に示すように直径ｄの円形である。そのレーザビームＬが頂角δで屈折率ｎの第１のアナモルフィック・プリズム２４に入射角θ_{in}で入射する。アナモルフィック・プリズム２４から射出されるレーザビームは、このプリズム２４に垂直になるように入射角θ_{in}が設定されている。即ち、次の関係が成立する。

【００３７】

【数５】

$$\sin\ \theta_{in} = n \cdot \sin\ \delta$$

その第１のアナモルフィック・プリズム２４を射出したレーザビームは、入射角θ_{in}で頂角δで屈折率ｎの第２のアナモルフィック・プリズム２５に入射する。このプリズム２５からはこのプリズム２５に垂直にレーザビームＭが射出される。この場合、入射するレーザビームＬのＺ方向の幅ｄを用いて、射出されるレーザビームＭのＺ方向の幅Ｄは、次式で表される。

【００３８】

【数６】

$$(D/\cos\ \delta)\cos\ \theta_{in} = (d/\cos\ \theta_{in})\cos\ \delta$$

従って、次式が成立する。

【００３９】

【数７】

$$D = (\cos\ \delta/\cos\ \theta_{in})^2 \cdot d$$

この場合、本実施例ではδ＜θ_{in}として、Ｄ＞ｄとする。例えば幅Ｄを２ｄに設定する。即ち、ビームエクスパンダ１２により入射したレーザビームＬの断面形状をＺ方向に引

き伸ばして、図２（ｃ）に示すように、Ｚ方向の幅Ｄの楕円状の断面形状を有するレーザビームＭを得、このレーザビームＭを図１の干渉測定部１３に供給する。このように１対のアナモルフィック・プリズム２４，２５を使用した場合には、レーザビームの波形の歪みが無い状態で断面形状を非対称にすることができる。

【００４０】

なお、本実施例では説明を簡単にするために、アナモルフィック・プリズム２４から射出されるレーザビームの射出角が９０°になるように入射角θ_{in}を設定したが、その射出角が９０°である必要はないのは当然である。また、直径ｄのレーザビームＬをＺ軸方向に引き伸ばして、Ｚ方向の長さＤでＸ方向の長さｄのレーザビームＭを得ているが、逆にレーザ光源１１から直径Ｄのレーザビームを発生し、ビームエクスパンダ１２によりそのレーザビームをＸ軸方向に縮小することにより、Ｚ方向の長さＤでＸ方向の長さｄのレーザビームＭを得るようにしてもよい。

【００４１】

図３は、図１中のダブルパス方式の干渉測定部１３の構成を示し、この図３において、入射した断面形状が楕円のレーザビームＭには、直交する偏光成分が混じっている。そして、偏光ビームスプリッタ（ＰＢＳ）２６において入射面に垂直な方向に偏光したＳ偏光成分が反射されて、参照ビームＭＲ１として１／４波長板２７Ｒを経て固定鏡２８に向かう。固定鏡２８で反射された参照ビームＭＲ１は、１／４波長板２７Ｒを経てＰ偏光として偏光ビームスプリッタ２６を透過してコーナキューブ２９に向かう。参照ビームＭＲ１は、コーナキューブ２９により反射されて参照ビームＭＲ２として偏光ビームスプリッタ２６を透過した後、１／４波長板２７Ｒを介して固定鏡２８に入射する。再び固定鏡２８により反射された参照ビームＭＲ２は、１／４波長板２７Ｒを経てＳ偏光として偏光ビームスプリッタ２６により反射されてＹ軸にほぼ平行に図１のレシーバ１９に入射する。

【００４２】

また、偏光ビームスプリッタ２６において入射面に平行な方向に偏光したＰ偏光成分は、偏光ビームスプリッタ２６を透過して測定ビームＭＭ１として１／４波長板２７Ｍを介して移動鏡１４に向かい、移動鏡１４に反射された測定ビームＭＭ１は、１／４波長板２７Ｍを経てＳ偏光として偏光ビームスプリッタ２６に反射されてコーナキューブ２９に向かう。測定ビームＭＭ１は、コーナキューブ２９により反射されて測定ビームＭＭ２として偏光ビームスプリッタ２６に戻り、偏光ビームスプリッタ２６により反射された測定ビームＭＭ２は、１／４波長板２７Ｍを介して移動鏡１４に向かい、移動鏡１４により反射された測定ビームＭＭ２は、１／４波長板２７Ｍを介してＰ偏光として偏光ビームスプリッタ２６を透過した後、参照ビームＭＲ２とほぼ平行に図１のレシーバ１９に入射する。

【００４３】

図１のレシーバ１９では、参照ビームＭＲ２と測定ビームＭＭ２との干渉光の光電変換信号を生成し、この光電変換信号に基づいて移動鏡１４のＹ方向への移動量が計測される。予め参照ビームＭＲ１と測定ビームＭＭ１との間に所定の周波数差を設けておくことにより、ヘテロダイン干渉法による計測が行われ、それらビームの周波数が等しい場合にホモダイン干渉法による計測が行われる。また、本実施例はダブルパス方式で測定ビームはＭＭ１及びＭＭ２として偏光ビームスプリッタ２６と移動鏡１４との間を２往復するため、計測分解能がシングルパスの場合の１／２に高められている。

【００４４】

図３において、固定鏡２８に入射する参照ビームＭＲ１，ＭＲ２の断面形状はＹ方向に長い楕円状であり、移動鏡に入射する測定ビームＭＭ１，ＭＭ２の断面形状はＺ方向に長い楕円状である。

図４（ｂ）は図３の直径φ１のコーナキューブ２９の平面図であり、コーナキューブ２９にはそれぞれＹ方向に長い楕円状の参照ビームＭＲ１及び測定ビームＭＭ１が入射し、同様にそれぞれＹ方向に長い楕円状の参照ビームＭＲ２及び測定ビームＭＭ２が射出している。例えば参照ビームＭＲ１と参照ビームＭＲ２とのビーム間隔はＷ３である。

【００４５】

次に、本実施例の動作につき説明する。図３のような干渉光学系では、移動鏡１４が測定ビームＭＭ１，ＭＭ２に対して垂直な軸、即ちＸ軸又はＺ軸の回りに所定角度θだけ傾くと、それぞれ測定ビームＭＭ１，ＭＭ２はＺ方向又はＸ方向に平行にシフトし、そのシフト量は移動鏡１４の反射面とコーナキューブ２９の頂点までの距離をＴとした場合、ほぼ４Ｔθとなる。

【００４６】

これに関して、図１で説明したように、本実施例の載物テーブル１５はレベリング機構１６Ａ～１６Ｃを介してＸステージ１７Ｘ上に載置されているため、図３において、移動鏡１４の回転としてはＸ軸に平行な軸の回りの回転角θ_Xのみを考えればよい。それに比べて、Ｚ軸の回りの回転角は無視できる程度であり、且つＹ軸の回りの回転の影響は殆ど無い。即ち、図３の測定ビームＭＭ１及びＭＭ２が移動鏡１４に反射された際の、移動鏡１４の傾きによるシフト方向は主にＺ方向となり、他の方向へのシフト量は無視できる程度である。

【００４７】

図４（ａ）は図１のレシーバ１９の受光面での参照ビームＭＲ２及び測定ビームＭＭ２の重なりの状態を示し、この図４（ａ）に示すように、本実施例では移動鏡１４の傾きにより参照ビームＭＲ２に対して測定ビームＭＭ２はＺ方向に例えばΔだけずれるようになる。ところが、参照ビームＭＲ２及び測定ビームＭＭ２共に、その断面形状はＸ方向の長さｄに対してＺ方向の長さＤが大きい楕円状であるため、そのＺ方向へのずれΔの影響は従来例よりも小さくなっている。

【００４８】

また、同様に図１の干渉測定部２２を含むＸ軸用のレーザ干渉計においても、レーザ光源２０から射出されたレーザビームの断面形状はＺ方向に引き伸ばされている。そして、移動鏡１４のＸ軸にほぼ垂直な反射面は、Ｙ軸に平行な軸の回りの回転角のみを考えればよいため、移動鏡１４により反射された測定ビームのずれの方向は主にＺ方向となる。従って、このＸ軸用のレーザ干渉計においても、レーザビームの断面形状をＺ方向に引き伸ばすことにより、移動鏡１４の傾斜の影響が低減されている。

【００４９】

ここで、図３のコーナキューブ２９について詳細に説明する。なお、説明の便宜上、図３のコーナキューブ２９は、角推型で表しているが、実際には外形が円形で裏面が角推型である。本実施例では、図４（ｂ）に示すように、コーナキューブ２９に対して、参照ビームＭＲ１、測定ビームＭＭ１等は、Ｙ方向に平行な１つの稜線（隣接する垂直な反射面の接合線）に対して、長手方向が平行に設定されている。また、参照ビームＭＲ１、測定ビームＭＭ１等は、他の稜線にはかかっていない。図４（ｂ）のように、各ビームがコーナキューブ２９の稜線を避けるためには、ビーム間隔Ｗ３は次式の条件を満たす必要がある。

【００５０】

【数８】

$$W3 \geqq (3D^2 + d^2)^{1/2}$$

例えば、図４（ａ）において、各ビームのＸ方向の幅ｄを４ｍｍ、Ｚ方向の幅Ｄを８ｍｍとすると、（数８）より図４（ｂ）において、ダブルパスの間隔Ｗ３は１４．５ｍｍ以上、コーナキューブ２９の有効径φ１は１８．５ｍｍ以上必要である。

【００５１】

これに対して、仮に同出力の断面形状が円形の参照ビーム及び測定ビームを用いたとすると、同量のシフトが起きた場合に同等の割合の重なり面積を得るにはビーム径が８ｍｍ必要である。更に、従来例の図１５（ｃ）の如く、このときダブルパスの間隔Ｗ２は１６ｍｍ以上、コーナキューブ９の有効径φ２は２４ｍｍ以上必要になる。また、他の光学部品も大きくなる可能性があり、本実施例により確かに光学部品が小型でよいことが分かる。

【００５２】

なお、上述実施例では、ビームエクスパンダ１２を介して断面形状が楕円状に変換された

レーザビームがそのままレシーバ１９に入射しているが、この場合レシーバ１９ではその楕円状のレーザビームの全体を受光できる受光面積が必要である。これを避けてレシーバ１９を小型化するために、レシーバ１９に入射する前にそのレーザビームの断面形状を再び円形に戻してもよい。このように互いに横ずれした楕円状の測定ビーム及び参照ビームを、再び断面形状が円形のレーザビームに変形する場合につき、図５を用いて説明する。

【００５３】

図５（ａ）は、Ｚ方向にΔだけ横ずれした参照ビームＯＲ１及び測定ビームＯＭ１を示し、この図５（ａ）において、参照ビームＯＲ１及び測定ビームＯＭ１はそれぞれＸ方向の長さｄ、且つＺ方向の長さＤの楕円状である。これら２つのレーザビームを図２（ｂ）に示すアナモルフィック・プリズム２４，２５に逆向き、即ち図２（ｂ）に示された射出側から入射させることにより、図５（ｂ）に示すようにそれぞれ断面形状が直径ｄの円形の参照ビームＯＲ２及び測定ビームＯＭ２を得ることができる。このとき参照ビームＯＲ２と測定ビームＯＭ２とのＺ方向への横ずれ量も、レーザビーム径と同様にｄ／Ｄに縮小されてｄΔ／Ｄになり、しかも干渉信号の強度は変わらない。従って、図１のレシーバ１９の代わりに、レーザビームの直径ｄに対応した小さな有効径のレシーバを使用することができる。また、図１及び図３の実施例のように、干渉測定部１３に対する入射ビームと干渉測定部１３からの射出ビームとが平行で向きが反対である干渉計においては、ビームエクスパンダ１２を両ビームが通る位置に配置することにより、新たな光学系を付加することなく楕円状のレーザビームを円形のレーザビームに戻すことができる。

【００５４】

同様に、図１においてビームエクスパンダ１２を省き、図３において干渉測定部１３と移動鏡１４との間、例えば１／４波長板２７Ｍと移動鏡１４との間に、アナモルフィック・プリズム又はシリンドリカルレンズ等から構成されるビーム整形光学系を配置してもよい。この場合、ビーム整形光学系と移動鏡１４との間ではレーザビームの断面形状は楕円であり、このビーム整形光学系による楕円の長軸方向への倍率をαとすると、その間で生じたレーザビームの横ずれ量は、ビーム整形光学系を往復し、再び円形のレーザビームに戻るときに１／αに縮小される。従って、この場合もビーム整形光学系と移動鏡１４との間に関しては上述した実施例と同様に、移動鏡１４のＸ軸回りの回転の影響が軽減される。

【００５５】

なお、上述実施例では、断面の光強度分布が非対称のレーザビームを得るために非対称のビームエクスパンダ１２，２１を使用しているが、射出されるレーザビームの光強度分布が非対称なレーザ光源を使用してもよい。

図６は、そのような非対称なレーザ光源の一例を示し、この図６において、レーザダイオード４０からはＺ方向への発散角がＸ方向への発散角より大きい状態で直線偏光のレーザビームが射出される。そこで、このレーザダイオード４０から射出されたレーザビームをコリメータレンズ４１で平行光束化して、断面形状がＺ方向に長い楕円状のレーザビームＭ２を得る。ここで、レーザビームＭ２は短径方向（Ｘ方向）に偏光した直線偏光であるため、更に１／４波長板４３を通過させてそのレーザビームＭ２の直線偏光を円偏光に変換する。その後、このレーザビームＭ２を例えば図３の偏光ビームスプリッタ２６に入射させることによって、ホモダイン干渉方式の干渉計が構成される。この場合、別に非対称のビームエクスパンダを設けることなく、断面が楕円形のレーザビームが得られるため、干渉計が小型化される。

【００５６】

次に、本発明の第２実施例につき図７及び図８を参照して説明する。図７及び図８において図１～図３に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。

図７は本実施例のレーザ干渉計を備えたステージ装置を示し、この図７において、レーザ光源１１から射出された断面形状が円形のレーザビームＬが、非対称のビームエクスパンダ１２Ａを経て断面形状がＸ方向に長い楕円のレーザビームＮとなってＹ軸用の干渉測定部１３に入射する。干渉測定部１３から射出された測定ビームＮＭ１が、Ｙ軸に平行にＬ字型の移動鏡１４に入射する。移動鏡１４により反射された測定ビームＮＭ１は干渉測定

部１３に戻り、干渉測定部１３で更に反射された測定ビームＮＭ２がＹ軸にほぼ平行に移動鏡１４に入射する。そして、移動鏡１４により反射された測定ビームＮＭ２が、干渉測定部１３に戻り、この測定ビームＮＭ２が内部で生成された参照ビームＮＲ２と共に、干渉光としてＹ軸にほぼ平行に、レシーバ１９に入射する。

【００５７】

移動鏡１４は、載物テーブル１５上に固定され、載物テーブル１５はＺ軸に平行な軸の回りに回転できる回転テーブル３０を介してＸステージ１７Ｘ上に載置されている。また、Ｘ軸用のレーザ光源２０からのレーザビームがビームエクスパンダ２１ＡによりＹ方向に引き伸ばされてＸ軸用の干渉測定部２２に入射し、干渉測定部２２から射出された測定ビームが移動鏡１４のＸ軸にほぼ垂直な反射面に向かい、その反射面で反射された測定ビームが干渉測定部２２に戻る。そして、干渉測定部２２で反射された測定ビームが再び移動鏡１４に向かい、移動鏡１４に再び反射された測定ビームが、干渉測定部２２内で参照ビームと合成されてレシーバ２３に入射する。その他の構成は図１と同様である。

【００５８】

本実施例においては、移動鏡１４の回転としてはＺ軸に平行な軸の回りの回転角θ_Zのみを考えればよく、他の回転は無視してよい。即ち、干渉測定部１３から移動鏡１４に入射する測定ビームＮＭ１，ＮＭ２は移動鏡１４の回転によりＸ方向にシフトするのみと考えてよい。同様に、干渉測定部２２から移動鏡１４に入射する測定ビームは移動鏡１４の回転によりＹ方向にシフトするのみと考えてよい。

【００５９】

図８（ａ）は図７のレシーバ１９の受光面での参照ビームＮＲ２及び測定ビームＮＭ２の重なりの状態を示し、この図８（ａ）に示すように、本実施例では移動鏡１４の傾きにより参照ビームＮＲ２に対して測定ビームＮＭ２はＸ方向にずれるようになる。ところが、参照ビームＮＲ２及び測定ビームＮＭ２共に、その断面形状はＺ方向の長さに対してＸ方向の長さが大きい楕円状であるため、そのＺ方向へのずれの影響は従来例よりも小さくなっている。

【００６０】

また、同様に図７の干渉測定部２２を含むＸ軸用のレーザ干渉計においても、レーザ光源２０から射出されたレーザビームの断面形状はＹ方向に引き伸ばされている。そして、移動鏡１４のＸ軸にほぼ垂直な反射面は、Ｚ軸に平行な軸の回りの回転角のみを考えればよいため、移動鏡１４により反射された測定ビームのずれの方向は主にＹ方向となる。従って、このＸ軸用のレーザ干渉計においても、レーザビームの断面形状をＹ方向に引き伸ばすことにより、移動鏡１４の傾斜の影響が低減されている。

【００６１】

ここで、図７の干渉測定部１３内のコーナキューブ２９について詳細に説明する。本実施例では、図８（ｂ）に示すように、コーナキューブ２９に対して、１回目の参照ビームＮＲ１、測定ビームＮＭ１、及び２回目の参照ビームＮＲ２、測定ビームＮＭ２は、Ｙ方向に平行な１つの稜線に対して、長手方向が垂直に設定されている。また、参照ビームＮＲ１、測定ビームＮＭ１等は、他の稜線にはかかっていない。

【００６２】

例えば、図８（ａ）において、各ビームＮＲ２，ＮＭ２のＺ方向の幅を４ｍｍ、Ｘ方向の幅を８ｍｍとすると、図８（ｂ）において、ダブルパスの間隔Ｗ４は１０．６ｍｍ以上、コーナキューブ２９の有効径φ１は１８．６ｍｍ以上必要である。これに対して、仮に同出力の断面形状が円形の参照ビーム及び測定ビームを用いたとすると、同量のシフトが起きた場合に同等の割合の重なり面積を得るにはビーム径が８ｍｍ必要である。更に、従来例の図１５（ｃ）の如く、このときダブルパスの間隔Ｗ２は１６ｍｍ以上、コーナキューブ９の有効径φ２は２４ｍｍ以上必要になる。また、他の光学部品も大きくなる可能性があり、本実施例により確かに光学部品が小型でよいことが分かる。

【００６３】

次に、本発明の第３実施例につき図９、及び図１０を参照して説明する。

図９（ａ）は本実施例のレーザ干渉計を示し、この図９（ａ）において、レーザ光源４５から射出された断面形状が直径ｄの円形のレーザビームは、ビーム整形装置４６Ａにより断面形状がＸ方向の幅Ｄで、Ｚ方向（図９（ａ）の紙面に垂直な方向）の幅ｄ（ｄ＜Ｄ）の楕円状のレーザビームに整形される。ビーム整形装置４６Ａから射出されたレーザビームは、ビームスプリッタ４７で参照光と測定光とに分離され、ビームスプリッタ４７で反射された参照光はコーナーキューブ４８で光路を折り返された後、再びビームスプリッタ４７で反射され、参照光ＰＲ１としてレシーバ５０に入射する。

【００６４】

一方、ビームスプリッタ４７を透過した測定光は、コーナーキューブ４９で光路を折り返された後、再びビームスプリッタ４７を透過して測定光ＰＭ１としてレシーバ５０に入射する。このとき、コーナーキューブ４９の頂点のＸ方向の横ずれ量の２倍だけ測定光ＰＭ１がＸ方向に横ずれする。即ち、コーナーキューブ４９がＸ方向にΔ／２だけ動いて、位置４９Ａに来ると、測定光ＰＭ１はレシーバ５０上でΔだけ横ずれする。レシーバ５０で参照光ＰＲ１及び測定光ＰＭ１の干渉光を光電変換することにより、コーナーキューブ４９のＹ方向の変位を知ることができる。このとき、測定光ＰＭ１と参照光ＰＲ１とは図１０（ａ）に示す如く、Ｘ方向にΔだけ横ずれしている。これに対して、図９（ａ）においてビーム整形装置４６Ａが無いものとすると、レシーバ５０上で観察される測定光ＰＭ１及び参照光ＰＲ１は、図１０（ｆ）に示すようになる。図１０（ａ）と図１０（ｆ）との比較より、本実施例ではビーム整形装置４６Ａの使用により、レシーバ５０から得られる干渉信号のＳＮ比が改善されることが分かる。

【００６５】

なお、ビーム整形装置４６Ａと同様の１個又は複数個のビーム整形装置を、図９（ｂ）に示すように他の位置に配置してもよい。図９（ａ）に対応する部分に同一符号を付して示す図９（ｂ）において、ビーム整形装置４６Ｂはビームスプリッタ４７からコーナーキューブ４９への往路上、ビーム整形装置４６Ｃはコーナーキューブ４９からビームスプリッタ４７への復路上、及びビーム整形装置４６Ｄはコーナーキューブ４８からビームスプリッタ４７への復路上にそれぞれ配置されている。また、ビーム整形装置４６Ｂ～４６Ｄの何れか１つのみを配置してもよく、それらの内の２つのみを組み合わせて使用してもよい。

【００６６】

この場合、ビーム整形装置４６Ｂ，４６Ｄは、ビーム整形装置４６Ａと同様に、レーザビームの進行方向に対して図９（ｂ）の紙面に平行な方向にレーザビームをＤ／ｄだけ拡大し、逆にビーム整形装置４６Ｃはレーザビームの進行方向に対して図９（ｂ）の紙面に平行な方向にレーザビームをｄ／Ｄだけ縮小する方向に取り付けてある。つまり、ビーム整形装置４６Ｂ，４６Ｄはレーザビームの進行方向に対して逆向きになっている。ビーム整形装置４６Ａ～４６Ｄとしては、それぞれ例えば１対のアナモルフィック・プリズム又は１対のシリンドリカルレンズ等が使用できる。また、ビーム整形装置４６Ｂ，４６Ｃを両方とも使用する場合は、例えば１対のアナモルフィック・プリズムをビームスプリッタ４７とコーナーキューブ４９との間を往復する光路の両側に亘って配置することにより、共通化することもできる。

【００６７】

ビーム整形装置４６Ｂ～４６Ｄを種々に組み合わせた場合のレシーバ５０上でのレーザビームの形状と横ずれ量とを図１０（ｂ）～（ｅ）を参照して説明する。何れの図でも参照光を実線の参照光ＰＲ２で、測定光を破線の測定光ＰＭ２で示している。

図１０（ｂ）はビーム整形装置４６Ｂのみを使用した場合であり、レシーバ５０の入射面で断面形状がＸ方向の幅Ｄ、Ｚ方向の幅ｄの楕円状の測定光ＰＭ２が、断面形状が円形の参照光ＰＲ２からＸ方向にΔだけ横ずれしている。図１０（ｃ）はビーム整形装置４６Ｃのみを使用した場合であり、レシーバ５０の入射面でＸ方向の幅d^2／Ｄ、Ｚ方向の幅ｄの楕円状の測定光ＰＭ２が円形の参照光ＰＲ２からＸ方向に（ｄ／Ｄ）Δだけ横ずれしている。図１０（ｄ）はビーム整形装置４６Ｄのみを使用した場合であり、レシーバ５０

の入射面上でＸ方向の幅Ｄ、Ｚ方向の幅ｄの楕円状の参照光ＰＲ２から直径ｄの円形の測定光ＰＭ２がＸ方向にΔだけ横ずれしている。

【００６８】

これらビーム整形装置４６Ｂ，４６Ｃ，４６Ｄの何れか１つを使用した場合は、図１０（ｆ）に示すビーム整形装置を使用しない場合とほぼ同等の干渉信号が得られる。しかしながら、例えばホモダイン方式の干渉計であれば、図９（ｂ）のレシーバ５０の入射面で参照光ＰＲ２と測定光ＰＭ２との単位面積当たりの光量が同じになるようにビームスプリッタ４７でレーザビームを分岐すれば、より強い干渉信号を得ることができる。

【００６９】

図１０（ｅ）はビーム整形装置４６Ｂ，４６Ｃを同時に使用した場合であり、レシーバ５０の入射面上で直径ｄの円形の参照光ＰＲ２から直径ｄの円形の測定光ＰＭ２がＸ方向に（ｄ／Ｄ）Δだけ横ずれしている。この場合は、図９（ａ）及び図１０（ａ）で示したようにビーム整形装置４６Ａを使用する場合と同様な干渉信号を得ることができる。また、ビーム整形装置４６Ｂ及び４６Ｄを同時に使用した場合は、レシーバ５０上での２つのレーザビームは図１０（ａ）に示すようになり、図９（ａ）に示すようにビーム整形装置４６Ａを使用する場合と同様の効果を得ることができることは明らかである。

【００７０】

また、図９（ａ）及び（ｂ）の例では、計測光がＸ方向に横ずれする場合を扱っているが、例えばコーナーキューブ４９が図９（ａ）及び（ｂ）の紙面に垂直なＺ方向に横ずれする場合には、ビーム整形装置４６Ａ，４６Ｂ，４６Ｃ又は４６Ｄを光軸を中心に９０°回転させることにより、そのコーナーキューブ４９のＺ方向への横ずれの影響を減少させることができる。また、複数のビーム整形装置を使用する場合、上述実施例では、同じ倍率のビーム整形装置を組み合わせていたが、当然、倍率の異なる複数のビーム整形装置を組み合わせてもよい。

【００７１】

なお、上述実施例では何れも断面形状が非対称なレーザビームとして断面内での光強度分布が均一な楕円状のレーザビームを使用したが、シフト方向に長い長方形断面を持つものや、仮に断面形状が円形であっても強度分布が非対称になっているものであれば、ある方向にビームがシフトした場合の干渉強度の減少割合が他方向に同量シフトしたときに比べて少なくなるようにできるので、上述実施例と同様の効果が期待できる。

【００７２】

また、アナモルフィック・プリズムの代わりに、図１１（ａ）に示すように１対のシリンドリカルレンズ５１Ａ及び５１Ｂを用いて断面形状が非対称なレーザビームを得てもよい。図１１（ａ）において、負及び正のシリンドリカルレンズ５１Ａ，５１Ｂは図１１（ａ）の紙面に垂直な方向（Ｘ方向）には屈折力を有していない。また、図１１（ａ）の紙面に平行な面内でのシリンドリカルレンズ５１Ａ，５１Ｂの焦点距離を$-f_1$，f_2（$f_2 > f_1$）とすると、入射する断面形状が円形のレーザビームＬは、射出時には、図１１（ｂ）に示すように断面形状がＺ方向にf_2 / f_1の割合で引き延ばされたレーザビームＭとなる。このように１対のシリンドリカルレンズ５１Ａ，５１Ｂを用いる場合には、入射するレーザビームＬと射出されるレーザビームＭとが同一の光軸５２上にあるため、光学系の配置が容易になることがある。また、ここでは凸凹のシリンドリカルレンズ５１Ａ，５１Ｂによるガリレオ式のビームエクスパンダを使用したが、凸のシリンドリカルレンズ２つによるケプラー式のビームエクスパンダを使用してもよい。

【００７３】

更に、アナモルフィック・プリズム、又はシリンドリカルレンズの代わりに、所定の方向に光ビームを伸縮するビームエクスパンダ、あるいは細長い開口を有するスリット板等を用いるか、あるいはこれらを併用してもよく、要は断面形状によらず、その光強度分布を光ビームのシフト方向に長くできるものであれば、いかなる光学部材を用いてもよい。

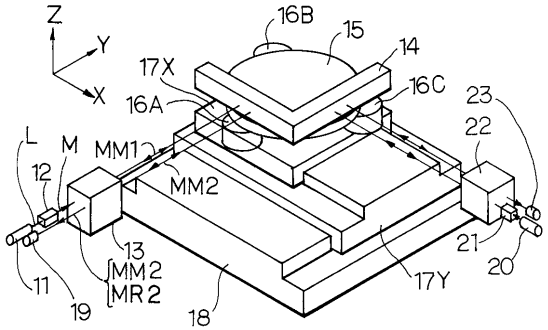
【００７４】

このように本発明は上述実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構

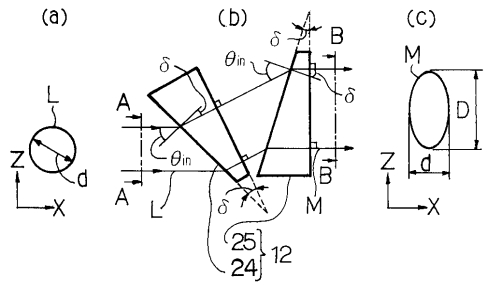
成を取り得る。
【００７５】
【発明の効果】
本発明によれば、光ビームの断面の光強度分布を所定の方向に長くできるため、使用する光学部品を大型化することなく、第１光ビーム（参照ビーム）と第２光ビーム（測定ビーム）とのその所定の方向へのずれ量の許容値を従来より大きくできる利点がある。更に、本発明をダブルパス方式の干渉計に適用した場合には、ダブルパスのビーム間隔を広くすることなく、第１光ビーム（参照ビーム）と第２光ビーム（測定ビーム）とのその所定の方向へのずれ量の許容値を従来より大きくできる。
【００７６】
また、非対称変換手段が、アナモルフィック・プリズムである場合には、このアナモルフィック・プリズムで光ビームの断面形状を所定の方向に伸縮しても光ビームの波面収差に対する悪影響が少ないため、良好に干渉計測を行うことができる。
また、非対称変換手段が、１対のシリンドリカルレンズである場合には、入射ビームと断面形状が変更されて射出される光ビームとがほぼ同軸上にあるため、全体の光学系の配置が容易になる場合がある。
【００７７】
更に、非対称変換手段を、光源と光分岐手段との間に配置した場合には、それ以降の第１光ビーム及び第２光ビームを含む全ての光ビームの断面の光強度分布を非対称にすることができる。
次に、光源として主光ビームを光強度分布が非対称の状態で発生する非対称光源を使用し、この非対称光源がその非対称変換手段を兼用する場合には、光学系の構成が簡略化される。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明による干渉計の第１実施例が適用されたステージ装置を示す斜視図である。
【図２】（ａ）は図２（ｂ）のＡＡ線に沿う断面図、（ｂ）は図１のビームエクスパンダ１２の構成例を示す図、（ｃ）は図２（ｂ）のＢＢ線に沿う断面図である。
【図３】図１中の干渉測定部１３等の構成を示す斜視図である。
【図４】（ａ）は図１中のレシーバ１９の入射面での各ビームの重なり状態を示す図、（ｂ）は図３のコーナキューブ２９の平面図である。
【図５】断面形状が楕円状のレーザビームを断面形状が円形のレーザビームに戻す場合の説明図である。
【図６】レーザダイオードを使用して断面形状が楕円状のレーザビームを生成する光源系を示す斜視図である。
【図７】本発明による干渉計の第２実施例が適用されたステージ装置を示す斜視図である。
【図８】（ａ）は図７中のレシーバ１９の入射面での各ビームの重なり状態を示す図、（ｂ）は図７の干渉測定部１３内のコーナキューブ２９の平面図である。
【図９】（ａ）は本発明による干渉計の第３実施例を示す構成図、（ｂ）はその第３実施例の変形例を示す構成図である。
【図１０】第３実施例及びその変形例におけるレシーバ５０の入射面での各ビームの重なり状態を示す図である。
【図１１】（ａ）は１対のシリンドリカルレンズを用いて断面形状が非対称なレーザビームを得る場合の光路図、（ｂ）は図１１（ａ）のＣＣ線に沿うレーザビームの断面図である。
【図１２】従来のレーザ干渉計を備えたステージ装置を示す平面図である。
【図１３】図１２において、測定ビームがシフトする様子を示す平面図である。
【図１４】参照ビームと測定ビームとの重なりの状態を示す図である。
【図１５】従来のダブルパス方式の干渉計で使用されるコーナキューブを示す図である。

【符号の説明】
１１　レーザ光源
１２，１２Ａ　非対称のビームエクスパンダ
１３　干渉測定部
１４　移動鏡
１５　載物テーブル
１７Ｘ　Ｘステージ
１７Ｙ　Ｙステージ
２４，２５　アナモルフィック・プリズム
２６　偏光ビームスプリッタ
２８　固定鏡
２９　コーナキューブ
４０　レーザダイオード
４１　コリメータレンズ
４３　１／４波長板
４６Ａ～４６Ｄ　ビーム整形装置
５１Ａ，５１Ｂ　シリンドリカルレンズ

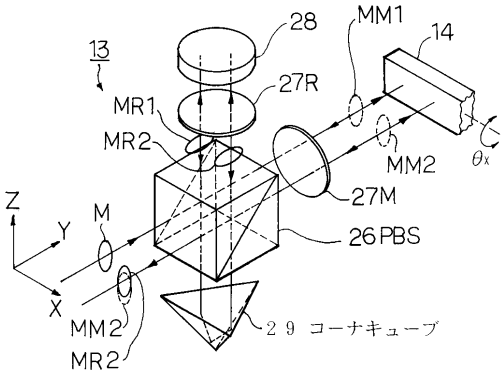
【図１】



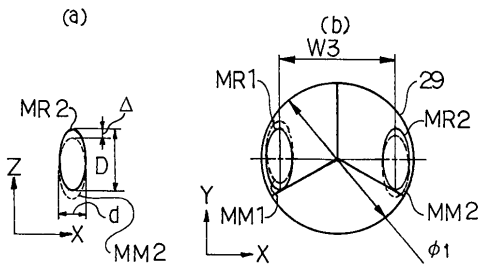
【図２】



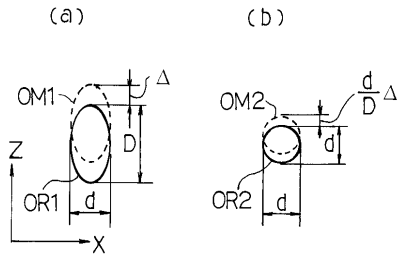
【図３】



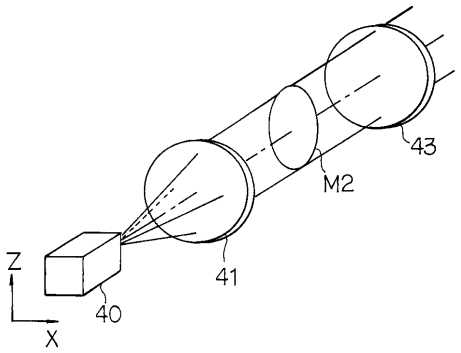
【図４】



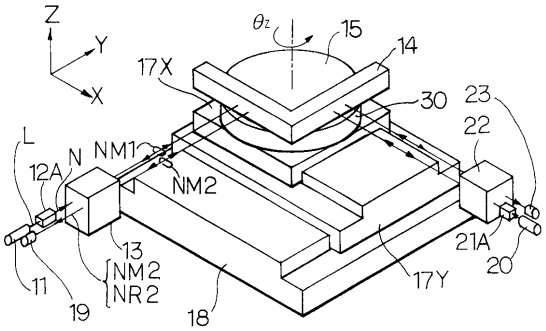
【図５】



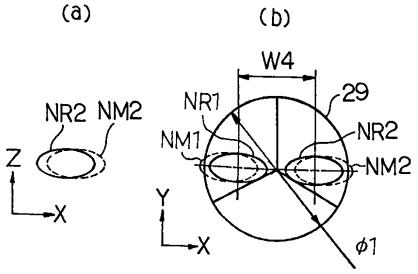
【図６】



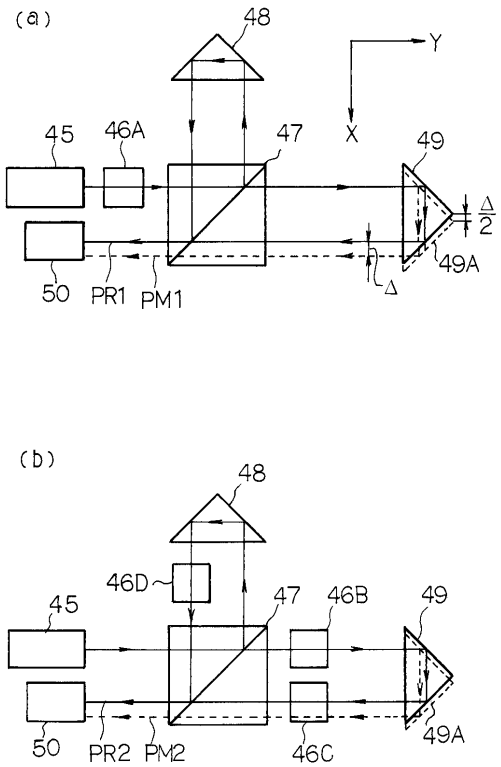
【図７】



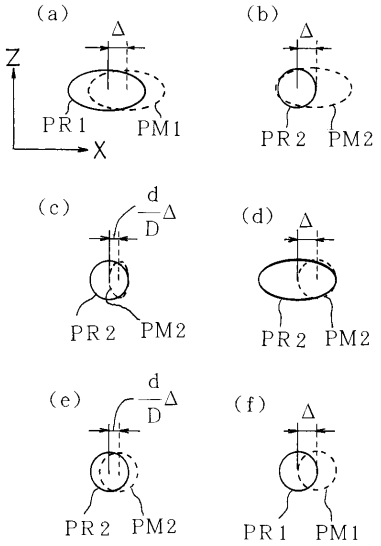
【図８】



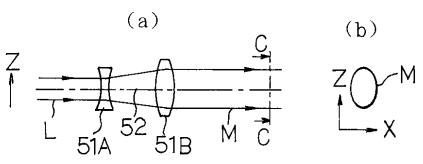
【図９】



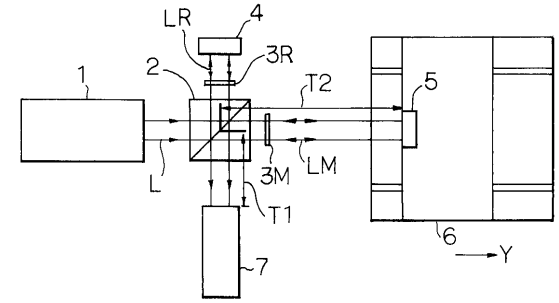
【図１０】



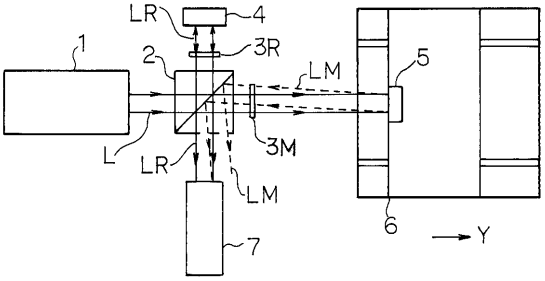
【図１１】



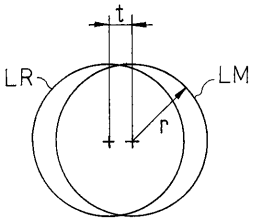
【図１２】



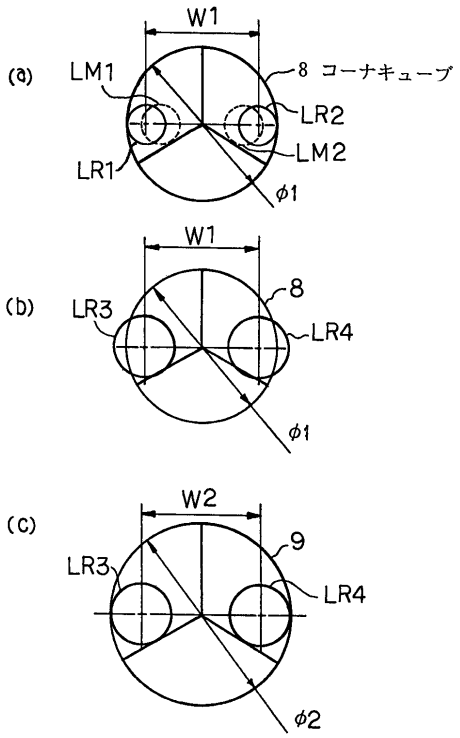
【図１３】



【図１４】



【図１５】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０１－２１６２１２（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２２６６０５（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－２１６２１２（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２２６６０５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01B 9/00 - 11/30
G01D 5/26 - 5/38