

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4814499号
(P4814499)

(45) 発行日 平成23年11月16日(2011.11.16)

(24) 登録日 平成23年9月2日(2011.9.2)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 M 11/02 (2006.01)

G O 1 M 11/02

B

請求項の数 16 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2004-214676 (P2004-214676)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成16年7月22日(2004.7.22)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2006-38488 (P2006-38488A)		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
(43) 公開日	平成18年2月9日(2006.2.9)	(74) 代理人	100091351
審査請求日	平成19年7月9日(2007.7.9)		弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100108855
			弁理士 蔵田 昌俊
		(74) 代理人	100075672
			弁理士 峰 隆司
		(74) 代理人	100109830
			弁理士 福原 淑弘
		(74) 代理人	100084618
			弁理士 村松 貞男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レンズ組立支援装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被検光学系に対して光を入射させる入射光学系と、

前記被検光学系の光軸上に設けられ、前記被検光学系に前記光を少なくとも1回往復させる往復光学系と、

前記被検光学系に往復した被検光による点像を撮像する撮像素子を有し、前記被検光学系に往復した前記被検光により現れる前記点像を強調拡大する前記被検光学系の偏心調整用の点像拡大光学系と、

前記被検光学系に往復した前記被検光と参照光との干渉により前記被検光学系の透過波面収差を反映した干渉縞を生成する前記被検光学系のレンズの間隔調整用の干渉計と、

前記干渉計の光軸を遮光可能な遮光機構と、前記遮光機構により前記干渉計の光軸を遮光している状態で、前記点像拡大光学系の光軸から抜き出され、前記遮光機構により前記干渉計の光軸を遮光していない状態で、前記被検光学系の瞳位置と前記撮像素子とを共役関係にするよう前記点像拡大光学系の光軸上に挿入されて前記干渉縞を前記点像拡大光学系に伝送させる光学素子と、を有し、前記入射光学系と前記往復光学系と前記点像拡大光学系とを有する前記被検光学系の偏心調整用の第1の調整光学系と、前記入射光学系と前記往復光学系と前記干渉計とを有する前記被検光学系のレンズの間隔調整用の第2の調整光学系とを切り替えることにより前記点像拡大光学系による前記点像の強調拡大と前記干渉計による前記干渉縞の生成とを切り替える光学系切替機構と、

を具備したことを特徴とするレンズ組立支援装置。

【請求項 2】

前記干渉計により生成された前記干渉縞の画像データに基づいて前記被検光学系の透過波面収差を求める解析装置を具備したことを特徴とする請求項 1 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 3】

前記遮光機構は、前記点像拡大光学系により前記点像を強調拡大するときに前記干渉計の光軸を遮光し、前記干渉計により前記干渉縞を生成するときに前記干渉計の光軸から抜き出されることを特徴とする請求項 1 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 4】

前記遮光機構は、前記干渉計の光軸に対して挿脱可能なシャッターを有することを特徴とする請求項 1 記載のレンズ組立支援装置。

10

【請求項 5】

前記往復光学系は、前記入射光学系により入射されて前記被検光学系を透過した前記光の光路上に配置され、前記被検光学系を透過した前記光を反射して再び前記被検光学系に透過させる球面ミラーを有することを特徴とする請求項 1 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 6】

前記球面ミラーは、前記被検光学系の焦点位置を中心とした曲率を有する凹球面又は凸球面のミラーであることを特徴とする請求項 5 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 7】

前記往復光学系は、前記入射光学系により入射されて前記被検光学系を透過した前記光の光路上に配置され、前記被検光学系を透過した前記光を反射して再び前記被検光学系に透過させる球面ミラーと、

20

前記球面ミラーに対して前記被検光学系を介して対向配置され、前記球面ミラーで反射して前記被検光学系を透過した前記光の一部を反射して再び前記被検光学系に透過させる一部反射ミラーと、

を有することを特徴とする請求項 1 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 8】

前記点像拡大光学系は、前記被検光学系に往復した前記被検光による前記点像を拡大投影する結像光学系と、

前記結像光学系により拡大投影された前記点像を撮像する撮像素子と、
を有することを特徴とする請求項 1 記載のレンズ組立支援装置。

30

【請求項 9】

前記入射光学系は、レーザ光を出力するレーザ光源と、
前記レーザ光源から出力された前記レーザ光を導く光ファイバーと、
前記光ファイバーから出射された前記レーザ光をコリメートするコリメートレンズと、
を有することを特徴とする請求項 1 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 10】

前記干渉計は、前記入射光学系からの前記光を前記参照光として反射する参照平面ミラーと、

前記参照平面ミラーを前記光の光軸方向に移動させる移動素子と、
を有することを特徴とする請求項 1 記載のレンズ組立支援装置。

40

【請求項 11】

前記被検光学系及び前記球面ミラーを一体的に前記被検光学系の瞳位置を中心に傾斜させる傾斜機構を有することを特徴とする請求項 9 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 12】

前記解析装置は、前記拡大光学系により強調拡大された前記点像の強度分布を解析することを特徴とする請求項 2 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 13】

前記干渉計は、前記入射光学系からの前記光を前記参照光として反射する参照平面ミラーと、

50

前記参照平面ミラーを前記光の光軸方向に移動させる移動素子とを有し、
前記解析装置は、前記参照平面ミラーの移動により得られる各位相の異なる複数の前記干渉縞の像から前記被検光学系の前記透過波面収差を求める、
ことを特徴とする請求項 2 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 1 4】

前記傾斜機構により前記被検光学系及び前記球面ミラーを一体的に前記被検光学系の瞳位置を中心に傾斜させた状態で、前記解析装置は、前記被検光学系の光軸外での前記被検光学系の偏心コマ収差を求め、又は前記被検光学系の光軸外での透過波面収差を求めることを特徴とする請求項 1 1 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 1 5】

前記被検光学系は、複数のレンズを同一光軸上に配置してなることを特徴とする請求項 1 記載のレンズ組立支援装置。

【請求項 1 6】

被検光学系に対して光を入射させる入射光学系と、

前記被検光学系の光軸上に設けられ、前記被検光学系に前記光を少なくとも 1 回往復させる往復光学系と、

前記往復光学系によって前記被検光学系に往復した被検光により現れる点像を強調拡大する点像拡大光学系と、

前記往復光学系によって前記被検光学系に往復した被検光と参照光との干渉により前記被検光学系の透過波面収差を反映した干渉縞を生成する干渉計と、

前記被検光学系の偏心調整をするときに少なくとも前記干渉計の光軸を遮光して前記点像拡大光学系による前記点像の撮像に切り替える、又は前記被検光学系の各レンズの間隔調整をするときに少なくとも前記干渉計で生成された前記干渉縞の撮像に切り替える光学系切替機構と、

前記被検光学系の偏心調整をするときに前記拡大光学系により強調拡大された前記点像の強度分布を解析し、前記被検光学系の各レンズの間隔調整をするときに前記干渉計により生成された前記干渉縞の画像データに基づいて前記被検光学系の透過波面収差を求める解析装置と、

を具備したことを特徴とするレンズ組立支援装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば顕微鏡に用いられる複数枚のレンズからなる対物レンズ等の被検光学系の各レンズ間の偏心調整や各レンズ間の間隔ずれを調整するために被検光学系の偏心コマ収差や被検光学系の透過波面収差を求めるレンズ組立支援装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば顕微鏡に用いられる高い N A（開口数）で高倍率を有する対物レンズ（以下、高 N A・高倍率の対物レンズと称する）は、厳しい仕様性能が要求される。このような対物レンズは、多数のレンズを有するレンズ系から構成されるのが一般的であり、例えば 1 5 枚前後のレンズから構成される。

【0003】

このような多数のレンズを有するレンズ系の光学性能を保証するには、レンズ系を構成する各レンズの偏心によって発生する偏心コマ収差と、各レンズの肉厚誤差や各レンズ間の間隔ずれによって発生する球面収差、軸外コマ収差、非点収差とを高精度に調整することが要求される。

【0004】

最近の高 N A・高倍率の対物レンズなどでは、偏心コマ収差を抑えるために各レンズ間の偏心許容量を例えば数 μm 以内のレベルに実現することが必要になっている。このようなレベルの偏心許容量を実現するためには、各レンズ及び当該各レンズを支持するレンズ

10

20

30

40

50

枠などの加工精度を高めるだけでは対処できなくなっている。このため、レンズ系を組み立てた後に、レンズ系の偏心調整を高精度に行う工程が必須になっている。

【 0 0 0 5 】

又、各レンズの間隔を規定する各レンズ枠の厚さの加工精度の向上だけでは、目標とする性能を実現できない場合が多く、各レンズの間隔を調整する調整工程が必要である。

【 0 0 0 6 】

先ず、レンズ系の偏心調整について説明する。実際の偏心調整工程では、レンズ系（以下、被検光学系と称する）を構成する全てのレンズの偏心調整をするのではなく、被検レンズ中の偏心調整に好適なレンズ（以下、調整レンズと称する）を選択し、当該調整レンズを被検光学系の全体に対して偏心調整することによって、被検光学系の非対称収差を抑えている。調整レンズは、1枚に限らないが、出きるだけ少ない枚数であることが望ましい。

10

【 0 0 0 7 】

偏心調整工程では、被検光学系の偏心コマ収差を評価或いは計測することが前提となる。偏心調整は、一般に数10 μm から数100 μm サイズの円形チャートなどを被検光学系の光軸上付近に置き、ランプ光源で被検光学系を透過照明し、被検光学系によるチャート像を観察又は撮像する。被検光学系に偏心コマ収差があれば、チャート像は円形ではなく例えば卵型のように非対称に変形する。作業者は、チャート像を評価しながら被検光学系を偏心調整し、チャート像を対称である円形になるように追い込んでいく。

【 0 0 0 8 】

20

図11は偏心調整の具体例を示す。被検光学系1は、複数のレンズからなり、複数のレンズを有する第1の部組レンズ2と、同じく複数のレンズを有する第2の部組レンズ3と、例えば1枚の調整レンズ4とを有する。被検光学系1の光軸P上には、チャート5が設けられている。このチャート5は、例えば図12に示すように円形開口パターンが形成されている。

【 0 0 0 9 】

ハロゲンランプなど光源6から放射された光は、照明レンズ7を介してチャート5を照明する。チャート5を通過したチャート像は、被検光学系1を通してCCDカメラ8に入射し、このCCDカメラ8により撮像される。この撮像されたチャート像は、例えばモニタ等により表示されて観察・評価される。

30

【 0 0 1 0 】

被検光学系1に軸非対称収差があれば、チャート像は、図13に示すように対称性が失われる。作業者は、チャート像を観察しながら被検光学系1内の調整レンズ4の偏心調整を行う。被検光学系1の偏心調整は、チャート像をモニタ上で目視評価して行う他に、コンピュータを用いて行ってもよい。コンピュータを用いた被検光学系1の偏心調整は、コンピュータによりチャート像の非対称収差を演算してその偏心方向及び調整量を数値化して求めてモニタ表示する。作業者は、モニタ表示されている非対称収差の偏心方向と調整量とに基づいて調整レンズ4を偏心調整する。

【 0 0 1 1 】

被検光学系1の生産量が非常に多い場合は、前述のコンピュータにより数値化された偏心調整量に基づいて自動で偏心調整を行うようにしてもよい。このような事例は、例えば特許文献1に開示されている。

40

【 0 0 1 2 】

なお、チャート5は、円形以外にスリットなどでもよい。但し、スリットの場合、被検光学系1の非対称収差は、1次元方向しか判別できなくなるので、スリットを様々な向きに回転させて評価する必要がある。

【 0 0 1 3 】

次に、各レンズの間隔調整について説明する。各レンズの間隔調整は、一般に、被検光学系1の光軸P上において球面収差、光軸P外においてコマ収差、非点収差などに寄与する。従って、各レンズの間隔調整時には、光軸P外と光軸P上の各収差状態を評価する必

50

要がある。それを実現するために各レンズの間隔調整は、複数の円形開口を有するチャート5を使用して光軸P上だけでなく光軸P外にも円形開口を有する像を評価しながら行っている。各レンズの間隔調整に用いる干渉計としては、例えば特許文献2に開示されている。

【特許文献1】特開2000-121902号公報

【特許文献2】特開平10-96679号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、上記透過照明によるチャート像の変形に基づいた方法（以下、透過チャート像方式と称する）では、収差の評価感度が不足する場面が出てきている。例えば、高NA・高倍率の対物レンズなどでは、偏心コマ収差の低減要求が非常に厳しくなっているために、偏心コマ収差の評価の感度向上が課題となっている。但し、作業者による偏心調整の作業を効率的に行うためには、偏心コマ収差の評価の感度向上と評価のリアルタイム性は両立させなければならない。

【0015】

透過チャート像方式で偏心コマ収差の評価感度を高める方法としては、透過円形チャート5の直径（又はスリット幅）を小さくしてチャート像の変形を判別しやすくする方法が考えられる。この方法の原理は、チャート5に形成されている例えば円形開口パターンを小さくすると、チャート5の円形開口パターンをそのまま透過した0次光強度に対する円形開口パターンのエッジ部分での高次の回折波強度の割合が相対的に増加することにより被検光学系1の高いNA領域を通る光の強度が相対的に増加し、それにより偏心コマ収差が強調されることに基づいている。さらに言えば、無限小のピンホールによる回折波は、全方向に一樣な強度で光を回折するので、理論上、最も理想的なチャートと言ってよい。

【0016】

しかしながら、あまりに微小な円形開口パターンを有するチャート5になると、被検光学系1に取り込まれる光量が大幅に減少し、チャート像が非常に暗い像になってしまう。現実的には、被検光学系1の開口数NA、波長で決定されるエアリディスク径 λ_{airy} と同等程度のチャートが理想的である。例えば、 $NA = 0.9$ 、 $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ の対物レンズのエアリディスク径を計算してみると、 $\lambda_{\text{airy}} = 1.22 \times \lambda / NA = 1.22 \times 0.55 \mu\text{m} / 0.9 = 0.74 \mu\text{m}$ となる。

【0017】

チャート5は、円形開口パターンのエッジが綺麗に加工され、かつ形状の対称性が要求される。このような微細な透過チャートを手にするのは、非常に難しい。又、 $NA = 0.9$ 、 $\lambda = 0.3 \mu\text{m}$ 程度の紫外線帯域の対物レンズの場合には、 $\lambda_{\text{airy}} = 0.4 \mu\text{m}$ となり、このような微細な透過チャートの手入は、不可能と言ってよい。

【0018】

近年、顕微鏡の対物レンズは、レーザ光学系に適用される例が増えている。この場合、対物レンズは、レーザ光源で規定される狭スペクトルの特定波長において性能を確保すればよいのであるが、レーザ波長において厳しい光学性能が要求される。必然的に、対物レンズが使用されるレーザ光源を使って偏心調整する必要がある。

【0019】

しかしながら、透過照明によるチャート像の非対称変形に基づいた評価方法では、コヒーレントなレーザ光をある程度広い面積を有するチャート5に照明することになる。このため、チャート5を通過して得られたチャート像にスペックルノイズが加わる。このスペックルノイズが加わると、スペックルノイズの中に偏心コマ収差が埋もれてしまい、偏心コマ収差を評価することは不可能になる。このため、レーザ光学系に適用される対物レンズの偏心コマ収差を高感度に測定して評価する場合の大きな課題となっている。

【0020】

スペックルノイズを無くし、かつ偏心コマ収差を高感度に評価する方法として被検光学

10

20

30

40

50

系 1 のエアリディスク径 λ_{airy} 以下のチャート 5 を準備する方法があるが、かかるチャート 5 を入手することは上記の如く不可能と言ってよく、当該チャート 5 を準備するのは諦めざるをえない。

【 0 0 2 1 】

チャート 5 を使用しない透過評価方式としては、例えば図 1 4 に示すような基準レンズ方式が考えられている。無収差として扱える基準レンズ 9 が準備される。この基準レンズ 9 の焦点と被検光学系 1 の焦点とが一致される。基準レンズ 9 の N A が被検光学系 1 の N A と同等以上であれば、基準レンズ 9 による点像を被検光学系 1 で再結像させた場合、被検光学系 1 による点像が評価されたとみなしてよい。被検光学系 1 による点像を十分な画素分解能で C C D 8 により撮像することで、被検光学系 1 の偏心コマ収差が感度良く評価

10

【 0 0 2 2 】

この方式であれば、チャート 5 を使う必要もなく、レーザを使っても基準レンズ 9 による点像を評価するだけなので、ある程度大きい透過チャートをレーザで評価する場合に発生するスペckルノイズも発生しない。

【 0 0 2 3 】

しかしながら、被検光学系 1 に対して N A が同等以上で無収差の基準レンズ 9 を準備する点が次の理由により非現実的である。既に述べたように被検光学系 1 として顕微鏡の対物レンズなどを考えた場合、ある特定の波長専用に設計された対物レンズであったり、レーザ波長専用に設計された対物レンズであったりする。そうすると、被検光学系 1 と同じ種類の数だけ基準レンズ 9 が必要になる。しかも、被検光学系 1 と同等以上の N A で予め無収差とみなせるレンズでなければならない。このため、図 1 4 に示す基準レンズ方式は、基準レンズ 9 の準備に費用及び時間が掛かりすぎ、非効率的で実用的でない。

20

【 0 0 2 4 】

複数枚のレンズから構成される被検光学系を調整する場合、各レンズの偏心調整だけでなく、各レンズ間の間隔調整も行う必要がある。各レンズの間隔調整は、光軸 P 上で球面収差に影響し、光軸 P 外でコマ収差及び非点収差に影響する。従って、光軸 P 外の性能も要求される場合は、各レンズ間の間隔調整が重要となる。

【 0 0 2 5 】

各レンズの間隔調整は、通常干渉計を用いて対物レンズの波面収差を定量的に測定し、この測定結果に基づいて対物レンズを構成する各レンズ間の間隔を調整する。例えば特許文献 2 に開示されているような波面収差測定装置の干渉計に取り付けられて波面収差測定が行われる。その測定結果に基づいて、対物レンズは、一旦分解されて間隔調整が行われる。その後、対物レンズを再度組立するときは、再度、偏心調整を行う必要がある。

30

【 0 0 2 6 】

以上のように対物レンズの各レンズの偏心調整は、例えば図 1 1 に示すようなチャート 5 を用いた方式、又は図 1 4 に示すような基準レンズ 9 を用いた方式で行い、一方、各レンズの間隔調整は、例えば特許文献 2 に開示されている波面収差測定装置の干渉計に取り付けて行う。すなわち、各レンズの偏心調整と間隔調整とは、それぞれ対物レンズを異なる別々の各装置を用いて行っている。そして、これら間隔調整と偏心調整とは、交互に数回繰り返すことによって対物レンズの組立調整の度合いを収束させている。このため、対物レンズの間隔調整及び偏心調整は、時間的に非効率である。

40

【 0 0 2 7 】

又、光軸 P 外の性能も要求される対物レンズは、レンズの光軸 P 上の性能だけでなく、光軸 P 外の性能も高感度に評価する必要がある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 8 】

本発明は、被検光学系に対して光を入射させる入射光学系と、被検光学系の光軸上に設けられ、被検光学系に前記光を少なくとも 1 回往復させる往復光学系と、被検光学系に往復した被検光による点像を撮像する撮像素子を有し、被検光学系に往復した被検光により

50

現れる点像を強調拡大する被検光学系の偏心調整用の点像拡大光学系と、被検光学系に往復した被検光と参照光との干渉により被検光学系の透過波面収差を反映した干渉縞を生成する被検光学系のレンズの間隔調整用の干渉計と、干渉計の光軸を遮光可能な遮光機構と、遮光機構により干渉計の光軸を遮光している状態で、点像拡大光学系の光軸から抜き出され、遮光機構により干渉計の光軸を遮光していない状態で、被検光学系の瞳位置と撮像素子とを共役関係にするよう点像拡大光学系の光軸上に挿入されて干渉縞を点像拡大光学系に伝送させる光学素子と、を有し、入射光学系と往復光学系と点像拡大光学系とを有する被検光学系の偏心調整用の第1の調整光学系と、入射光学系と往復光学系と干渉計とを有する被検光学系のレンズの間隔調整用の第2の調整光学系とを切り替えることにより点像拡大光学系による点像の強調拡大と干渉計による干渉縞の生成とを切り替える光学系切替機構とを具備したレンズ組立支援装置である。

10

【0029】

本発明は、被検光学系に対して光を入射させる入射光学系と、被検光学系の光軸上に設けられ、被検光学系に光を少なくとも1回往復させる往復光学系と、往復光学系によって被検光学系に往復した被検光により現れる点像を強調拡大する点像拡大光学系と、往復光学系によって被検光学系に往復した被検光と参照光との干渉により被検光学系の透過波面収差を反映した干渉縞を生成する干渉計と、被検光学系の偏心調整をするときに少なくとも干渉計の光軸を遮光して点像拡大光学系による点像の撮像に切り替える、又は被検光学系の各レンズの間隔調整をするときに少なくとも干渉計で生成された干渉縞の撮像に切り替える光学系切替機構と、被検光学系の偏心調整をするときに拡大光学系により強調拡大された点像の強度分布を解析し、被検光学系の各レンズの間隔調整をするときに干渉計により生成された干渉縞の画像データに基づいて被検光学系の透過波面収差を求める解析装置とを具備したレンズ組立支援装置である。

20

【発明の効果】

【0030】

本発明は、被検光学系の偏心コマ収差及び透過波面収差を1台で測定可能な構成にすることによって、被検光学系の偏心調整及びレンズ間隔調整を高精度かつ効率的に行うためのレンズ組立支援装置を提供できる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

以下、本発明の第1の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0032】

図1はレンズ組立支援装置の構成図である。このレンズ組立支援装置では、被検光学系1以外の各光学部品の各収差は問題にしないでよいものとする。

【0033】

筐体10は、ベース部材11に支持部材12を立設し、この支持部材12の上部にアーム部材13を横方向に支持してなるコ字形状に形成されている。ベース部材11上には、XYZステージ14が設けられている。このXYZステージ14上には、球面ミラー15が設けられている。XYZステージ14は、球面ミラー15をXYZ方向に移動させる。

40

【0034】

アーム部材13の下面には、対物レンズ取付部材16が設けられ、この対物レンズ取付部材16に被検光学系として対物レンズが取り付けられている。以下、被検光学系を対物レンズ1として説明する。この対物レンズ1は、図11に示すように複数のレンズを有する第1の部組レンズ2と、同じく複数のレンズを有する第2の部組レンズ3と、例えば1枚の調整レンズ4とを有する。この対物レンズ1は、先端側を球面ミラー15に向けて対物レンズ取付部材16に取り付けられている。

【0035】

アーム部材13及び対物レンズ取付部材16には、それぞれアーム部材13及び対物レ

50

ンズ取付部材 16 を貫通する光通過用の各孔 17、18 が設けられている。

【0036】

球面ミラー 15 は、凹球面 15a に形成され、その曲率中心は、対物レンズ 1 の集光点 S に一致している。この球面ミラー 15 は、対物レンズ 1 の光軸上に設けられ、対物レンズ 1 を通過したレーザー光を反射し、再び対物レンズ 1 を通過させることによってレーザー光を対物レンズ 1 に 1 往復させる往復光学系を構成する。この球面ミラー 15 は、非常に高精度な球面である必要があり、一般に反射面にコーティングをしていない。従って、球面ミラー 15 は、材質によって反射率が決まる。普通球面ミラー 15 の材質は、ガラス（石英などが多い）を用いるが、ガラスは反射率が 4 % 程度と低いので、反射率が 40 % 程度と高いシリコン製のものが好適である。

10

【0037】

入射光学系 19 は、レーザー光を対物レンズ 1 に入射するもので、レーザー光を出力するレーザー光源 20 を備えている。このレーザー光源 20 のレーザー出力端には、光ファイバー 21 の一端が接続されている。この光ファイバー 21 の他端は、例えばアーム部材 13 の上方に配置され、導いたレーザー光を出射する。この光ファイバー 21 の他端から出射されたレーザー光の光軸上には、光ファイバー 21 の他端から出射されたレーザー光を平行光にコリメートするコリメートレンズ 22 が設けられている。

【0038】

一方、トワイマングリーン型の干渉計 23 が設けられている。すなわち、アーム部材 13 に設けられた光通過用の孔 17 上には、ビームスプリッタ 24 が設けられている。このビームスプリッタ 24 におけるコリメートレンズ 22 によりコリメートされたレーザー光の透過光軸上には、参照平面ミラー 25 が設けられている。

20

【0039】

この参照平面ミラー 25 は、ビームスプリッタ 24 を透過したレーザー光を参照光として反射する。この参照平面ミラー 25 は、 piezo 素子（PZT）等の移動素子 26 に設けられている。この移動素子 26 は、piezo 素子駆動回路 27 から電圧が印加される毎に参照平面ミラー 24 をビームスプリッタ 23 を透過したレーザー光の光軸方向と同一方向に微小変位させる。

【0040】

ビームスプリッタ 24 は、アーム部材 13 に設けられた光通過用の孔 17 上に設けられ、コリメートレンズ 22 によりコリメートされたレーザー光の一部を対物レンズ 1 が取り付けられている下方側に反射し、残りのレーザー光を参照平面ミラー 25 が設けられている側に透過させる。又、ビームスプリッタ 24 は、対物レンズ 1 側からの被検光と参照平面ミラー 25 からの参照光との干渉縞を生成する。

30

【0041】

点像拡大光学系 28 がビームスプリッタ 24 で上方側に反射する光の光軸上に設けられている。この点像拡大光学系 28 は、対物レンズ 1 に往復したレーザー光により現れる点像を強調拡大する。この点像拡大光学系 28 は、光軸上に結像レンズ 29 及び小さな画素サイズを有する CCD カメラなどの撮像素子 30 を配置してなる。

【0042】

光学系切替機構 31 は、入射光学系 19 と球面ミラー 15 と点像拡大光学系 28 とを有する対物レンズ 1 の偏心調整用の第 1 の調整光学系と、入射光学系 19 と球面ミラー 15 と干渉計 23 とを有する対物レンズ 1 のレンズ間隔調整用の第 2 の調整光学系とのいずれか一方に切り替える。具体的に光学系切替機構 31 は、干渉計 23 におけるビームスプリッタ 24 と参照平面ミラー 25 との間の光軸上に挿脱可能なシャッター 32 と、点像拡大光学系 28 の光軸に対して挿脱可能な光学素子としてのペルトランレンズ 33 とを有する。

40

【0043】

シャッター 32 は、遮光機構駆動回路 34 により干渉計 23 の光軸に挿脱される。この遮光機構駆動回路 34 は、点像拡大光学系 28 により点像を強調拡大するときに干渉計 2

50

3の光軸上にシャッター32を挿入し、干渉計23により干渉縞を生成するときに当該干渉計の光軸からシャッター32を抜き出す。

【0044】

ベルトランレンズ33は、挿脱機構駆動回路35により点像拡大光学系28の光軸に挿脱される。この挿脱機構駆動回路35は、対物レンズ1の偏心コマ収差を求めるときにベルトランレンズ33を点像拡大光学系28の光軸から抜き出し、対物レンズ1の透過波面収差を求めるときにベルトランレンズ33を点像拡大光学系28の光軸上に挿入する。

【0045】

撮像素子30は、点像拡大光学系28により強調拡大された点像を撮像してその画像信号を出力する。又、撮像素子30は、点像拡大光学系28の光軸上にベルトランレンズ33が挿入された状態で、点像拡大光学系28により伝送された干渉計23により生成された干渉縞を撮像してその画像信号を出力する。

10

【0046】

解析装置36は、撮像素子30から出力された画像信号を入力し、点像拡大光学系28により強調拡大された点像の第1の画像データ、又は干渉計23により生成された干渉縞の第2の画像データとして内部メモリに記憶する。この解析装置36は、第1の画像データを解析して対物レンズ1の偏心コマ収差を求め、かつ点像拡大光学系28により強調拡大された点像の強度分布を解析する。

【0047】

又、解析装置36は、第2の画像データを解析して対物レンズ1の透過波面収差を求め、さらに参照平面ミラー25の移動により得られる各位相の異なる各干渉縞の各第2の画像データから対物レンズ1の透過波面収差を求める。解析装置36は、解析結果である対物レンズ1の偏心コマ収差、強調拡大された点像の強度分布、対物レンズ1の透過波面収差をCRTディスプレイ又は液晶ディスプレイ等のモニタ37に表示する。

20

【0048】

次に、上記の如く構成された装置の動作について説明する。

【0049】

先ず、対物レンズ1の偏心調整をするときの支援動作について説明する。対物レンズ1の偏心調整を行うとき、遮光機構駆動回路34は、図2に示すように干渉計23の光軸上にシャッター32を挿入し、かつ挿脱機構駆動回路35は、点像拡大光学系28の光軸からベルトランレンズ33を抜き出す。

30

【0050】

レーザ光源20からレーザ光が出力されると、このレーザ光は、光ファイバー21内を伝送して他端から放射状に出射される。この光ファイバー21から出射されたレーザ光は、コリメートレンズ22により平行光にコリメートされてビームスプリッタ24に入射する。このビームスプリッタ24に入射されたレーザ光は、ビームスプリッタ24により2方向に分岐され、一方のレーザ光が下方に向けて反射され、各孔18、17内を通過して対物レンズ1に入射する。他方のレーザ光は、シャッター32によりその信号が遮光される。

【0051】

40

対物レンズ1に入射し透過したレーザ光は、対物レンズ1の集光点Sで一旦集光し、この後発散して球面ミラー15の凹球面15aに向かって進行する。この球面ミラー15の曲率中心と対物レンズ1の集光点Sとは一致しているので、対物レンズ1を透過したレーザ光は、全て球面ミラー15の凹球面15aに対して垂直方向に入射し、かつ凹球面15aに対して垂直方向すなわちレーザ光の入射方向と同一光路上に反射する。

【0052】

ここで、球面ミラー15の作用について詳しく説明する。図2中において、対物レンズ1に入射するレーザ光のうち光軸を挟んで互に対称なレーザ光を細線と太線とで表す。細線で表したレーザ光は、球面ミラー15で反射し、再び対物レンズ1中の同一光路を辿って対物レンズ1に射出する。太線で表したレーザ光も同様に、球面ミラー15で反射し

50

、再び対物レンズ 1 中の同一光路を辿って対物レンズ 1 から射出される。従って、レーザー光は、対物レンズ 1 内を 1 往復することになり、これにより、レーザー光には、対物レンズ 1 の持っている収差を 2 倍に強調した収差が加わることになる。

【 0 0 5 3 】

なお、球面ミラー 1 5 でなく平面ミラーを使用すると、平面ミラーは、対物レンズ 1 の焦点面に設置されるが、対物レンズ 1 の持っている偏心コマ収差などの非対称収差の情報を失ってしまうことは明らかである。このため、平面ミラーを使用することはできない。このような理由から球面ミラー 1 5 を使用する必要がある。

【 0 0 5 4 】

対物レンズ 1 内を 1 往復して 2 倍の収差が加わったレーザー光は、平行光の被検光として各孔 1 7、1 8 内を通過し、ビームスプリッタ 2 4 を透過して点像拡大光学系 2 8 に向かう。この点像拡大光学系 2 8 は、対物レンズ 1 に往復したレーザー光により現れる点像を強調拡大する。撮像素子 3 0 は、点像拡大光学系 2 8 により強調拡大された点像を撮像してその画像信号を出力する。

【 0 0 5 5 】

解析装置 3 6 は、撮像素子 3 0 から出力された画像信号を入力し、点像拡大光学系 2 8 により強調拡大された点像の画像を第 1 の画像データとして内部メモリに記憶する。この解析装置 3 6 は、第 1 の画像データを解析して対物レンズ 1 の偏心コマ収差を求め、かつ点像拡大光学系 2 8 により強調拡大された点像の強度分布を解析する。

【 0 0 5 6 】

ここで、点像拡大光学系 2 8 の作用について詳しく説明する。点像拡大光学系 2 8 は、対物レンズ 1 の 2 倍の収差が加わった点像を大きく拡大観察するが、この拡大観察をするには、結像レンズ 2 9 によって得られた点像を大きくすること、CCD 等の撮像素子 3 0 として小さな画素サイズを有することが考えられる。

【 0 0 5 7 】

例えば、対物レンズ 1 として $NA = 0.9$ 、焦点距離 $f_{ob} = 1.8 \text{ mm}$ 、波長 $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$ の顕微鏡の対物レンズ 1 を考えた場合の結像レンズ 2 9 の焦点距離、撮像素子 3 0 の画素分解能について考えてみる。

【 0 0 5 8 】

対物レンズ 1 が無収差の場合のエアリディスク径 Δ_{airy} は、
 $\Delta_{airy} = 1.22 \times \lambda / NA = 1.22 \times 0.55 \mu\text{m} / 0.9 = 0.75 \mu\text{m}$
 となる。

【 0 0 5 9 】

結像レンズ 2 9 の焦点距離を f_{TL} とすると、対物レンズ 1 の点像の光学拡大倍率 M は、
 $M = f_{TL} / f_{ob}$
 となる。例えば結像レンズ 2 9 の焦点距離 $f_{TL} = 360 \text{ mm}$ とすると、光学拡大倍率 $M = 200$ 倍となり、撮像素子 3 0 に投影されるエアリディスク径は、

$$0.75 \mu\text{m} \times 200 = 150 \mu\text{m}$$

となる。撮像素子 3 0 の 1 画素を例えば $7.5 \mu\text{m}$ とすれば、

$$150 \mu\text{m} / 7.5 \mu\text{m} = 20$$

となる。すなわち、点像のエアリディスク内を 20×20 画素の画素分解能で撮像できる拡大観察系となる。実際には、点像のエアリディスク内を 10×10 画素程度の画素分解能の撮像でも、収差の観察には実用上差し支えない。

【 0 0 6 0 】

このように対物レンズ 1 の 2 倍の収差が加わった点像を十分な画素分解能を有する撮像素子 3 0 により撮像すれば、対物レンズ 1 の収差の影響を受けた点像をモニター 3 7 上で十分に拡大観察でき、その収差を高感度に観察できる。

【 0 0 6 1 】

CCD の代わりに無収差とみなせる接眼レンズを付けて観察してもよいが、光学系が増えるので、結像レンズ 2 9 及び撮像素子 3 0 を有する点像拡大光学系 2 8 の方がより望ま

10

20

30

40

50

しい。

【 0 0 6 2 】

図 3 は偏心コマ収差の無い理想的な対物レンズ 1 の点像を示す。この理想的な対物レンズ 1 の点像は、回転対称の円形となる。図 4 は偏心コマ収差が波面収差 rms 値で 0 . 0 5 存在するときの対物レンズ 1 の点像を示す。偏心コマ収差が存在する対物レンズ 1 の点像は、円形でなく、中心が偏心した楕円状の非対称の像に変形する。図 5 は例えば偏心コマ収差 0 . 0 2 rms 相当の点像を示す。

【 0 0 6 3 】

解析装置 3 6 は、図 3 乃至図 5 に示すような点像拡大光学系 2 8 により強調拡大された点像の画像を第 1 の画像データをモニタ 3 7 にリアルタイムに表示する。従って、作業者は、モニタ 3 7 にリアルタイムに表示される図 3 乃至図 5 に示すような点像拡大光学系 2 8 により強調拡大された点像の画像を観察しながら図 1 1 に示す調整レンズ 4 を対物レンズ 1 の全体に対して偏心調整作業することによって点像を回転対称にする。

【 0 0 6 4 】

このように対物レンズ 1 の偏心調整では、対物レンズ 1 に往復したレーザ光により現れる点像を点像拡大光学系 2 8 により強調拡大し、この強調拡大された点像をリアルタイムにモニタ 3 7 に表示するので、作業者は、モニタ 3 7 にリアルタイムに表示される点像を観察しながら点像が回転対称になるように偏心調整することができ、当該偏心調整作業を効率的に行うことができる。

【 0 0 6 5 】

モニタ 3 7 には、点像をリアルタイムに表示できるので、図 5 に示すように偏心コマ収差 0 . 0 2 rms 相当の低収差でも点像の非対称性を確認することができ、非常に高感度で点像を観察でき、偏心調整作業を高精度に行える支援ができる。

【 0 0 6 6 】

このようにして対物レンズ 1 の偏心コマ収差を高感度に観察できると共に、上記装置は、さらに実用上の大きな各メリットを有する。第 1 のメリットは、サブ μm オーダーの微小な透過チャートの製作という困難から開放される。第 2 のメリットは、レーザ光を使用してもスペckルノイズが発生しない。第 3 のメリットは、基準レンズ方式のように対物レンズ 1 の種類と同数の各基準レンズを製作する必要がない、である。

【 0 0 6 7 】

球面ミラー 1 5 を準備する必要があるが、反射鏡であるので全波長の対物レンズ 1 に対して共通に使用できる。これにより、無収差とみなせる球面ミラー 1 5 を 1 個だけ準備すればよい。

【 0 0 6 8 】

球面ミラー 1 5 のチェックとしては、例えば He - Ne レーザを使用した干渉計が市販されているので、この干渉計により球面ミラー 1 5 の収差（球面からのずれ）を一度だけチェックしておけばよい。これにより、球面ミラー 1 5 のみを作製すれば、様々な波長の対物レンズ 1 の収差を直ぐに観察できる。

【 0 0 6 9 】

従って、本装置は、対物レンズ 1 の収差を高感度に観察できるだけでなく、偏心調整作業に要する時間、費用ともに非常に効率的な収差の観察環境に支援できる。さらに、解析装置 3 6 は、点像を解析して当該点像の対称性を数値やグラフなどに換算し、これら数値やグラフなどをリアルタイムにモニタ 3 7 に表示することによって作業者による偏心調整作業を補助するような解析機能を付加してもよい。

【 0 0 7 0 】

次に、対物レンズ 1 の各レンズの間隔調整をするときの支援動作について説明する。対物レンズ 1 の各レンズ間隔調整を行うとき、図 1 に示すように遮光機構駆動回路 3 4 は、干渉計 2 3 の光軸上からシャッター 3 2 を抜き出し、かつ挿脱機構駆動回路 3 5 は、点像拡大光学系 2 8 の光軸上にベルTRANレンズ 3 3 を挿入する。

【 0 0 7 1 】

レーザ光源 20 から出力されたレーザ光は、光ファイバー 21 内を伝送して他端から放射状に出射され、コリメートレンズ 22 により平行光にコリメートされてビームスプリッタ 24 に入射する。このビームスプリッタ 24 に入射されたレーザ光は、ビームスプリッタ 24 により 2 方向に分岐され、一方のレーザ光が下方に向けて反射され、各孔 18、17 内を通過して対物レンズ 1 に入射する。

【0072】

この対物レンズ 1 に入射し透過したレーザ光は、上記同様に、対物レンズ 1 の集光点 S で一旦集光し、この後発散して球面ミラー 15 の凹球面 15a に向かって進行し、全て球面ミラー 15 の凹球面 15a に対して垂直方向に入射し、かつ凹球面 15a に対して垂直方向に反射する。そして、対物レンズ 1 内を 1 往復して 2 倍の収差が加わったレーザ光は、平行光の被検光として各孔 17、18 内を通過し、ビームスプリッタ 24 に入射する。

10

【0073】

ビームスプリッタ 24 により分岐された他方のレーザ光は、ビームスプリッタ 24 を透過し、参照平面ミラー 25 で反射する。この参照平面ミラー 25 で反射したレーザ光は、参照光として再びビームスプリッタ 24 に入射する。これにより、対物レンズ 1 側からの被検光と参照平面ミラー 25 からの参照光とが干渉し、図 6 に示すような対物レンズ 1 の瞳位置での透過波面収差を反映した干渉縞が生成される。

【0074】

ベルトランレンズ 33 を挿入して対物レンズ 1 の瞳位置と撮像素子 30 とが共役関係にあるので、対物レンズ 1 の瞳位置での透過波面収差を反映した干渉縞は、撮像素子 30 の撮像面上で結像する。この撮像素子 30 は、入射した干渉縞を撮像してその画像信号を出力する。

20

【0075】

この状態で、参照平面ミラー 25 は、 piezo 素子 (PZT) 等の移動素子 26 の微小変位によりレーザ光の光軸方向と同一方向に微小距離毎に移動する。この参照平面ミラー 25 の各微小距離毎の移動によりそれぞれ異なる各位相毎の各干渉縞が生成される。撮像素子 30 は、各干渉縞をそれぞれ撮像してその各画像信号を出力する。

【0076】

解析装置 36 は、干渉計 23 により生成された干渉縞の第 2 の画像データを解析して対物レンズ 1 の透過波面収差を求める。又、解析装置 36 は、各位相毎の各干渉縞の各第 2 の画像データを解析して対物レンズ 1 の各透過波面収差を求め、これら透過波面収差の定量化を行う、いわゆる位相シフト法による干渉縞の解析法を行う。そして、解析装置 36 は、解析した対物レンズ 1 の各透過波面収差の結果をモニタ 37 にリアルタイムに表示する。

30

【0077】

従って、作業者は、モニタ 37 にリアルタイムに表示される対物レンズ 1 の各透過波面収差の結果を見ながら図 11 に示す調整レンズ 4 を対物レンズ 1 の光軸方向に移動させてレンズの間隔調整作業を行う。このレンズの間隔調整作業では、干渉計 23 で測定した透過波面収差の結果に基づいて球面収差量を抽出し、この球面収差量が目標値内に入るように対物レンズ 1 を構成する各レンズの間隔を定量的に調整することが可能となる。

40

【0078】

球面収差の調整時は、対物レンズ 1 を分解して各レンズ間の間隔枠を交換したりワッシャーを挿脱して調整する。従って、対物レンズ 1 を再度組立した後、再び上述した点像観察により対物レンズ 1 の偏心調整を行い、対物レンズ 1 の調整が終了する。対物レンズ 1 の調整終了の判断は、再び透過波面収差を測定して各収差成分が目標値に入ったか否かで判断することになる。

【0079】

このように上記第 1 の実施の形態によれば、入射光学系 19 と球面ミラー 15 と点像拡大光学系 28 とを有する対物レンズ 1 の偏心調整用の第 1 の調整光学系と、入射光学系 19 と球面ミラー 15 と干渉計 23 とを有する対物レンズ 1 のレンズ間隔調整用の第 2 の調

50

整光学系とを一体化し、光学系切替機構 31 によるシャッター 32 及びベルトランレンズ 33 の各光軸への挿脱によって対物レンズ 1 の偏心調整又は対物レンズ 1 のレンズ間隔調整を行うようにしたので、1 台の装置で点像観察機能と干渉計機能が簡単に切り替え可能であり、高精度かつ効率的に対物レンズ 1 の評価及び調整が可能となる。これにより、対物レンズ 1 の偏心調整及び各レンズの間隔調整を短時間で効率的に行うことができ、かつ費用が掛からない。

【0080】

対物レンズ 1 の偏心調整では、落射照明と球面ミラー 15 との組合せにより対物レンズ 1 に対してレーザ光を往復させて 2 倍の収差を受けさせ、かつ対物レンズ 1 の点像そのものをリアルタイムで拡大観察（スポット観察）するので、対物レンズ 1 の偏心コマ収差を効率的かつ高精度に調整できる。対物レンズ 1 のレンズ間隔調整では、対物レンズ 1 の瞳の干渉縞を観察、又は波面収差の測定を行うので、レンズ間隔調整を高精度かつ効率的に行うことができる。

【0081】

次に、本発明の第 2 の実施の形態について図面を参照して説明する。なお、図 1 と同一部分には同一符号を付してその詳しい説明は省略する。

【0082】

図 7 はレンズ組立支援装置の構成図である。このレンズ組立支援装置は、対物レンズ 1 の軸外での評価、調整の支援を行う。架台 41 上には、筐体 10 及び傾斜機構 40 が設けられている。傾斜機構 40 は、対物レンズ 1 と球面ミラー 46 と X Y Z ステージ 14 とを一体的に対物レンズ 1 の瞳位置 E を中心に傾斜させる。

【0083】

具体的に傾斜機構 40 は、架台 41 上に押しネジ台 42 を設け、この押しネジ台 42 に対して螺合して回転可能に押しネジ 43 を設ける。この押しネジ 43 は、支持部材 12 を貫通し、その先端部が支持フレーム 44 の側面に当接している。この押しネジ 43 には、ハンドル 45 が取り付けられている。支持フレーム 44 は、枠状に形成され、球面ミラー 15 を設けた X Y Z ステージ 14 を支持する。この支持フレーム 44 は、図示しないが対物レンズ 1 の瞳位置 E と同一位置に回転軸が設けられ、この回転軸が筐体 10 に対して回転可能に設けられている。支持フレーム 44 の上部には、自転取付部材 46 が設けられている。この自転取付部材 46 は、対物レンズ 1 を取り付けると共に、対物レンズ 1 をその光軸を回転軸として自転させる。

【0084】

このような傾斜機構 40 は、ハンドル 45 の回転操作により押しネジ 43 の先端部を支持フレーム 44 の側面に押し当てたり、戻したりして支持フレーム 44 を対物レンズ 1 の瞳位置 E を中心に回転させる。これにより、対物レンズ 1、球面ミラー 15 及び X Y Z ステージ 14 は、一体的に傾斜する。

【0085】

なお、傾斜機構 40 は、ハンドル 45 に代えて押しネジ 43 にモータの軸を連結し、対物レンズ 1、球面ミラー 15 及び X Y Z ステージ 14 の一体的な傾斜を自動的に行うようにしてもよい。この場合、対物レンズ 1、球面ミラー 15 及び X Y Z ステージ 14 の傾斜角度は、モータの回転角を制御すれば可能である。

【0086】

次に、上記の如く構成された装置の動作について説明する。

【0087】

遮光機構駆動回路 34 は、干渉計 23 の光軸上にシャッター 32 を挿入し、かつ挿脱機構駆動回路 35 は、点像拡大光学系 28 の光軸からベルトランレンズ 33 を抜き出した状態にある。

【0088】

一方、傾斜機構 40 は、対物レンズ 1、球面ミラー 15 及び X Y Z ステージ 14 を一体的に傾斜する。この状態で、レーザ光源 20 から出力されたレーザ光は、光ファイバー 2

1内を伝送して他端から放射状に出射され、コリメートレンズ22により平行光にコリメートされてビームスプリッタ24に入射し、このビームスプリッタ24に入射されたレーザ光は、ビームスプリッタ24により2方向に分岐され、その一方のレーザ光が下方に向けて反射され、各孔18、17内を通過して対物レンズ1に入射する。

【0089】

対物レンズ1は、傾斜機構40によって入射するレーザ光の光軸方向に対して傾斜しているため、対物レンズ1に入射した平行光のレーザ光は、対物レンズ1の軸外に集光される。

【0090】

その後、XYZステージ14に載った球面ミラー15の曲率中心が対物レンズ1の軸外集光位置に移動させる。これにより、球面ミラー15で反射したレーザ光は、対物レンズ1内の同じ経路を辿って上記第1の実施の形態と同様に点像拡大光学系28に入射する。

10

【0091】

この点像拡大光学系28は、対物レンズ1に往復したレーザ光により現れる点像を強調拡大する。この点像は、対物レンズ1の軸外の点像である。従って、傾斜機構40によって対物レンズ1の傾斜角度を変えれば、対物レンズ1の軸外の各位置での各点像が得られる。又、自転取付部材46は、対物レンズ1をその光軸を回転軸として自転させる。これにより、対物レンズ1を自転させたときの当該対物レンズ1の軸外の各位置での各点像が得られる。

【0092】

20

従って、対物レンズ1を傾斜させると共に自転させれば、対物レンズ1の軸外全ての位置での点像が得られる。

【0093】

撮像素子30は、点像拡大光学系28により強調拡大された対物レンズ1の軸外の各位置の各点像を撮像してその画像信号を出力する。解析装置36は、撮像素子30から出力された画像信号を入力し、点像拡大光学系28により強調拡大された対物レンズ1の軸外の各位置の各点像の画像を第1の画像データとして内部メモリに記憶し、これら第1の画像データを解析して対物レンズ1の偏心コマ収差を求め、かつ点像拡大光学系28により強調拡大された点像の強度分布を解析し、かつ強調拡大された点像をリアルタイムにモニタ37に表示する。

30

【0094】

一方、対物レンズ1の各レンズ間隔調整を行うとき、図1に示すように遮光機構駆動回路34は、干渉計23の光軸上からシャッター32を抜き出し、かつ挿脱機構駆動回路35は、点像拡大光学系28の光軸上にベルTRANレンズ33を挿入する。

【0095】

この状態で、レーザ光源20から出力されたレーザ光は、光ファイバー21内を伝送して他端から放射状に出射され、コリメートレンズ22により平行光にコリメートされてビームスプリッタ24に入射し、このビームスプリッタ24により2方向に分岐され、その一方のレーザ光が対物レンズ1に入射し透過して対物レンズ1の軸外に集光される。そして、球面ミラー15で反射したレーザ光は、対物レンズ1内の同じ経路を辿って上記同様にビームスプリッタ24に入射する。他方のレーザ光は、ビームスプリッタ24を透過して参照平面ミラー25で反射し、参照光として再びビームスプリッタ24に入射する。これにより、対物レンズ1側からの被検光と参照平面ミラー25からの参照光とが干渉して対物レンズ1の透過波面収差を反映した干渉縞が生成される。

40

【0096】

対物レンズ1の透過波面収差を反映した干渉縞は、ベルTRANレンズ33、結像レンズ29を通して対物レンズ1の瞳位置と共役関係にある撮像素子30の撮像面上で結像する。

【0097】

この状態で、参照平面ミラー25は、ピエゾ素子(PZT)等の移動素子26の微小変

50

位によりレーザ光の光軸方向と同一方向に微小距離毎に移動すると、この参照平面ミラー 25 の各微小距離毎の移動によりそれぞれ異なる各位相毎の各干渉縞が生成される。撮像素子 30 は、各干渉縞をそれぞれ撮像してその各画像信号を出力する。

【0098】

解析装置 36 は、干渉計 23 により生成された各位相毎の各干渉縞の各第 2 の画像データを解析して対物レンズ 1 の各透過波面収差を求め、これら透過波面収差の定量化を行う、いわゆる位相シフト法による干渉縞の解析法を行う。そして、解析装置 36 は、解析した対物レンズ 1 の各透過波面収差の結果をモニタ 37 にリアルタイムに表示する。

【0099】

このように上記第 2 の実施の形態によれば、対物レンズ 1 を当該対物レンズ 1 の瞳位置 E を中心に傾斜させる傾斜機構 40 を備えたので、上記第 1 の実施の形態に加えて、対物レンズ 1 の軸外の各位置での各点像をリアルタイムに観察できる。又、自転取付部材 46 によって対物レンズ 1 をその光軸を回転軸として自転させるので、対物レンズ 1 の軸外の全ての位置での各点像を観察することができる。従って、対物レンズ 1 の性能を軸上、軸外に渡って評価することができる。

【0100】

なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されるものでなく、次のように変形してもよい。

【0101】

上記各実施の形態では、凹球面の球面ミラー 15 を用いているが、図 8 に示すように凸球面に形成された球面ミラー 50 を用いてもよい。

【0102】

又、図 9 に示す球面ミラーは、例えば生物用顕微鏡に装着される対物レンズの組立調整における点像観察に好適である。

【0103】

一般に、生物標本は、スライスされてスライドガラス上に載置され、このスライドガラス上の生物標本の上から例えば厚さ 0.17 mm 程度のカバーガラスを載せられて観察される。従って、生物標本の観察用の対物レンズは、カバーガラスを設置された場合に収差が最も小さくなるように設計されている。

【0104】

又、生物標本は、およそ生理食塩水程度の光学的屈折率を有すると考えて実用上差し支えない。このような生物標本の観察に近い状態で対物レンズ 1 の点像を観察するためには、図 9 に示す球面ミラー 51 が好適である。この球面ミラー 51 は、例えば高精度なガラスボールレンズをカットした半球状に形成され、平面 52 と半球状の反射面 53 とを有する。平面 52 上には、生物標本が載置され、その上にカバーガラス 54 が載置される。

【0105】

対物レンズ 1 の焦点位置は、カバーガラス 54 を透過した球面ミラー 51 の平面 52 上に合わせる。なお、球面ミラー 51 は、内部がガラスであり、生理食塩水と同じ屈折率ではなくても実用上それに近い屈折率と見なせるガラスであればよい。

【0106】

このような球面ミラー 51 であれば、球面ミラー 51 の反射面 53 で反射したレーザ光は、再びもとの経路を辿って対物レンズ 1 を通過し、対物レンズ 1 の 2 倍の収差が加わった点像を観察することができる。又、生物顕微鏡で良く使用される油浸対物レンズを対物レンズ 1 とする場合は、図 9 に示すカバーガラス 54 と対物レンズ 1 との間にオイルを満たすようにすればよい。

【0107】

上記第 2 の実施の形態では、対物レンズ 1 と球面ミラー 15 と X Y Z ステージ 14 とを一体的に傾斜させているが、これに限らず、入射光学系としての光ファイバー 21 及びコリメートレンズ 22 やビームスプリッタ 24、点像拡大光学系 28 を一体的に傾斜させても対物レンズ 1 の軸外の点像を観察することができる。正確には、対物レンズ 1 と球面

10

20

30

40

50

ミラー 15 と X Y Z ステージ 14 とが一体的にかつ相対傾斜していれば良いのは言うまでもない。

【0108】

なお、傾斜させるときの回転軸が対物レンズ 1 の瞳位置から外れると、傾斜時に対物レンズ 1 の瞳枠で光束がケラレを発生することになりあまり好ましくないので、傾斜させるときの回転軸は、対物レンズ 1 のほぼ瞳位置とするのが好ましい。

【0109】

光源としては、レーザ光源 20 を用い、このレーザ光源 20 から出力されるレーザ光の伝送手段としては、シングルモードの光ファイバー 21 が望ましい。光ファイバー 21 でレーザ光を導入せず、レーザ光源 20 から直接レーザ光を導入する構成にしてもよい。

10

【0110】

干渉計 23 は、トワイマングリーン型で説明したが、点像観察と干渉縞の観察とが簡単に切り替え可能であれば、別の形態の干渉計を用いてもよい。

【0111】

上記第 1 及び第 2 の実施の形態では、対物レンズ 1 にレーザ光を 1 往復させているが、複数回往復させてもよい。このような往復光学系は、図 10 に示すように例えばアーム部材 13 中に一部反射ミラー 55 を設ける。この一部反射ミラー 55 は、球面ミラー 15 に対して対物レンズ 1 を介して対向配置され、球面ミラー 15 で反射して対物レンズ 1 を透過したレーザ光の一部を反射し、再び対物レンズ 1 に透過させる。従って、レーザ光は、対物レンズ 1 を複数回往復することになる。これにより、対物レンズ 1 の収差が複数倍加わったレーザ光の点像をリアルタイムで観察でき、対物レンズ 1 の偏心コマ収差を効率的かつ高精度に調整できる。

20

【図面の簡単な説明】

【0112】

【図 1】本発明に係るレンズ組立支援装置の第 1 の実施の形態を示す構成図。

【図 2】同装置における対物レンズの偏心調整をするときの構成図。

【図 3】同装置により得られる偏心コマ収差の無い理想的な対物レンズの点像を示す図。

【図 4】同装置により得られる偏心コマ収差が存在するときの対物レンズの点像を示す図。

。

【図 5】同装置により得られる偏心コマ収差が存在するときの対物レンズの点像を示す図。

30

。

【図 6】同装置により得られる干渉縞を示す図。

【図 7】本発明に係るレンズ組立支援装置の第 2 の実施の形態を示す構成図。

【図 8】本発明に係るレンズ組立支援装置に用いる球面ミラーの変形例を示す図。

【図 9】本発明に係るレンズ組立支援装置に用いる球面ミラーの変形例を示す図。

【図 10】本発明に係るレンズ組立支援装置に用いる往復光学系の変形例を示す図。

【図 11】従来の偏心調整の具体例を示す図。

【図 12】同偏心調整に用いられる円形開口パターンが形成されたチャートを示す図。

【図 13】同チャートにより得られる像を示す図。

【図 14】従来のチャートを使用しない透過評価方式である基準レンズ方式を示す図。

40

【符号の説明】

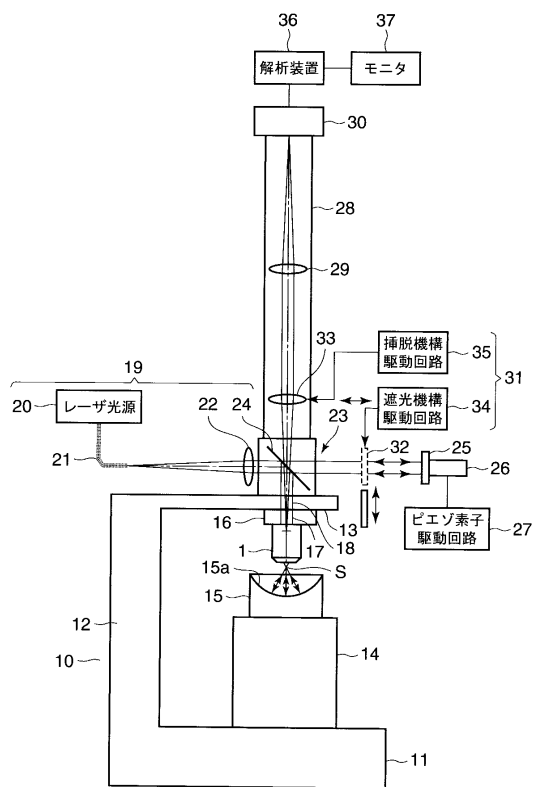
【0113】

1：被検光学系（対物レンズ）、2：第 1 の部組レンズ、3：第 2 の部組レンズ、4：調整レンズ、10：筐体、11：ベース部材、12：支持部材、13：アーム部材、14：X Y Z ステージ、15：球面ミラー、16：対物レンズ取付部材、17、18：孔、19：入射光学系、20：レーザ光源、21：光ファイバー、22：コリメートレンズ、23：干渉計、24：ビームスプリッタ、25：参照平面ミラー、26：移動素子、27： piezo 素子駆動回路、28：点像拡大光学系、29：結像レンズ、30：撮像素子、31：光学系切替機構、32：シャッター、33：ベルトランレンズ、34：遮光機構駆動回路、35：挿脱機構駆動回路、36：解析装置、37：モニタ、40：架台、41：架台

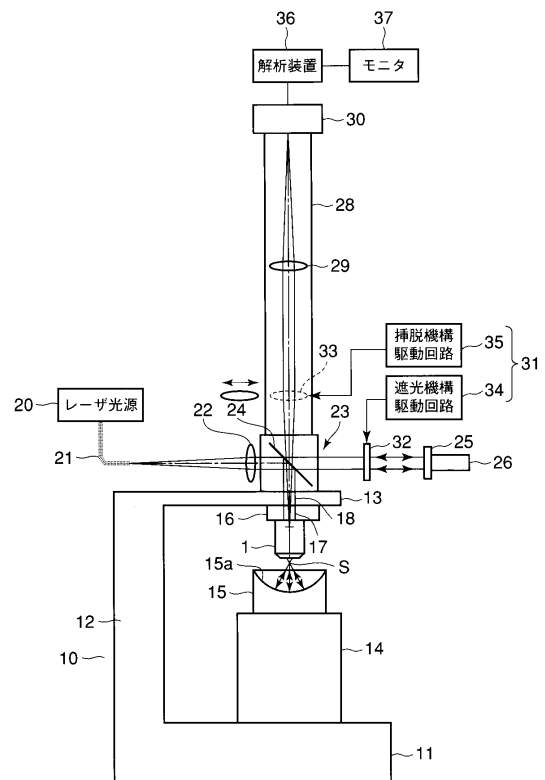
50

、 4 2 : 押しネジ台、 4 3 : 押しネジ、 4 4 : 支持フレーム、 4 5 : ハンドル、 4 6 : 自
 転取付部材、 5 0 : 球面ミラー、 5 1 : 球面ミラー、 5 2 : 平面、 5 3 : 反射面、 5 4 :
 カバーガラス、 5 5 : 一部反射ミラー。

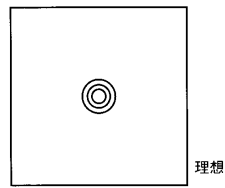
【図 1】



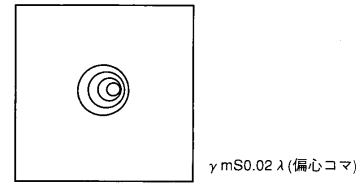
【図 2】



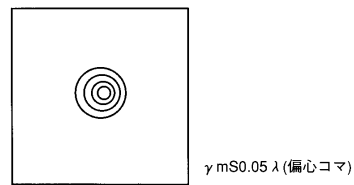
【図 3】



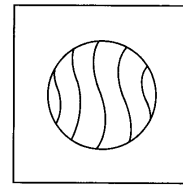
【図 5】



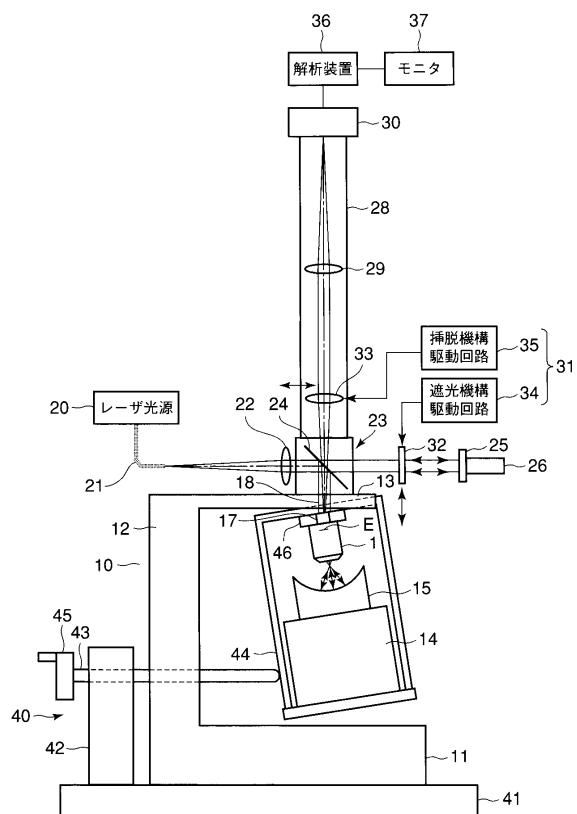
【図 4】



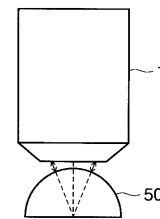
【図 6】



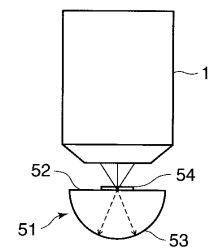
【図 7】



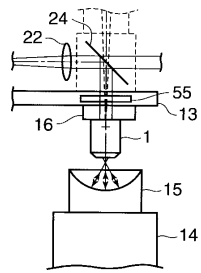
【図 8】



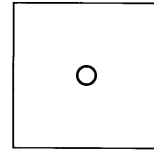
【図 9】



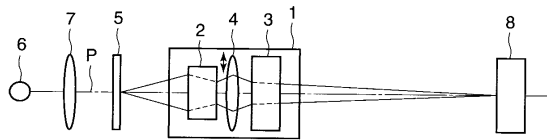
【図 10】



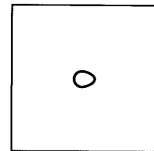
【図 12】



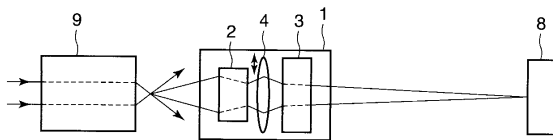
【図 11】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

(74)代理人 100092196

弁理士 橋本 良郎

(72)発明者 江田 幸夫

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 オリンパス株式会社内

審査官 尾崎 淳史

(56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 0 8 5 4 6 3 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 2 8 1 1 0 0 (J P , A)

特開 2 0 0 1 - 0 2 7 5 8 0 (J P , A)

特開 2 0 0 5 - 2 4 1 5 9 6 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 3 2 5 1 7 3 (J P , A)

特開 2 0 0 3 - 0 5 7 0 1 6 (J P , A)

特開平 1 1 - 1 9 4 0 1 1 (J P , A)

特開平 0 4 - 2 6 9 6 0 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 M 1 1 / 0 0 - 1 1 / 0 2