(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3693767号
(P3693767)
(45)発行日　平成17年9月7日(2005.9.7)　(24)登録日　平成17年7月1日(2005.7.1)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
G01B 11/24	G01B	11/24	D
G01B 11/00	G01B	11/00	G
G02B 7/28	G02B	7/11	Z
G03B 3/00	G03B	3/00	Z

請求項の数 7　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願平8-263806
(22)出願日　平成8年9月13日(1996.9.13)
(65)公開番号　特開平10-89930
(43)公開日　平成10年4月10日(1998.4.10)
審査請求日　平成14年12月5日(2002.12.5)

(73)特許権者　000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号
(74)代理人　100072051
弁理士　杉村　興作
(74)代理人　100089576
弁理士　冨田　典
(74)代理人　100073313
弁理士　梅本　政夫
(72)発明者　林　　真市
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス光学工業株式会社内

審査官　杉浦　淳

最終頁に続く

(54)【発明の名称】形状測定器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、

前記焦点調節手段は、前記観察物体上の位相分布を測定して検出される特異点を用いて、該特異点における位相の飛びがある閾値を越えるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とする形状測定器。

【請求項２】

光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、

前記焦点調節手段は、前記観察物体上の位相分布を測定して検出される特異点を用いて、該特異点における位相の飛びの符号が逆転する位置近傍に、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とする形状測定器。

【請求項３】

光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像

を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記観察物体上の位相分布を測定して検出される特異点を用いて、２つの特異点間における位相分布が平坦になるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とする形状測定器。
【請求項４】
光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記観察物体上の位相分布を測定して検出される特異点を用いて、２つの特異点間における位相分布の差分の絶対値の最大値が小さくなるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とする形状測定器。
【請求項５】
光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記干渉像の差分画像に基づいて検出される特異点を用いて、該特異点における前記干渉像の差分が大きくなるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とする形状測定器。
【請求項６】
光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記干渉像の差分画像に基づいて検出される特異点を用いて、前記干渉像の差分値が所定の閾値を越えるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とする形状測定器。
【請求項７】
光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記干渉像の差分画像に基づいて検出される特異点を用いて、該特異点における前記干渉像の差分値の符号が逆転する位置近傍に、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とする形状測定器。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
この発明は、微小物体の形状を測定、検査する形状測定器に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
干渉計を用いて物体の形状を測定、検査する形状測定器は、例えば、 D.Malacara, “Optical Shop Testing", John Wiley and Sons, New York (1978) に示されているように、従来種々提案されている。特に、フリンジスキャンを用いた位相計測は、使用波長の１／１００以下の精度で表面凹凸を検出することが可能なことから、物体の微細表面形状の測定に広く用いられている。
【０００３】

ところで、物体表面に段差がある場合、その回折光には、段差の近傍に位相の飛び（特異点）が発生することが、例えば、 C.Bouwhius,et.al.,“Principlesof Optical Disc Systems", Intern.Trens in Optic, Acad. Press(1991) に示されている。この大きさ無限小の特異点は、段差に限らず、物体の光学物性的不連続点（異なる２つの物質の境界または段差位置等）の極く近傍に発生することが多い。したがって、特異点の位置を高い精度で測定することにより、その発生原因となっている光学物性的不連続点を高い精度で測定することができる。

【０００４】

図３は、従来の形状測定器の構成を示すものである。この形状測定器は、トワイマン・グリーンタイプの干渉計を用いたもので、レーザ光源１から平行光となって射出されたコヒーレントな照明光は、ビームエキスパンダ２により適当な径に広げられたのち、ハーフミラーよりなる干渉装置３により、観察物体４へ向かう観察光路５と、参照物体６へ向かう参照光路７とに分割される。観察物体４および参照物体６で反射された光は、観察光路５および参照光路７を引き返し、干渉装置３で合成されて干渉する。この合成された光は、対物レンズ８を通ることにより、観察物体４と参照物体６との合成像が、所定の結像位置に配置されたＣＣＤよりなる撮像装置９上に形成され、その像がコントローラ１０を経て画像表示装置１１に表示される。

【０００５】

ここで、撮像装置９の撮像面上に投影される合成像には、干渉装置３から観察物体４で反射されて再び干渉装置３まで戻る観察光路５の光路長と、干渉装置３から参照物体６で反射されて再び干渉装置３まで戻る参照光路７の光路長との局所的な差に応じた干渉縞が発生している。したがって、コントローラ１０により位相変調器１２を駆動して、参照物体６を光軸方向に移動させ、これにより光路長差を少しずつ変化させて、干渉縞を移動させながら複数の干渉画像を撮像装置９によって取り込めば、それらの干渉画像に基づいて観察物体表面近辺の位相分布を算出することができる。なお、フリンジスキャンなどの複数の干渉画像より位相分布を算出する方法は、Catherine Creath,“PHASE-MEASUREMENT INTERFEROMETRY TECHNIQUES", Progress in Optics XXVI, Amsterdam 1988, pp350-393 、および特開平５－２３２３８４号公報に詳しく説明されている。

【０００６】

しかし、観察物体表面近傍における特異点の検出には、以下の問題がある。すなわち、D.M.Gale, et.al.,“Linnik Microscope Imaging", Applied Optics,35(1996), pp131-148 に示されているように、観察される位相分布が、観察物体に対する対物レンズの焦点位置に著しく敏感であることである。例えば、上記文献では、開口数ＮＡ＝０．９の対物レンズに、波長λ＝０．６３３μｍの光源を用いているので、対物レンズの焦点深度Δは、$\Delta = \lambda / 2NA^2$ から、Δ＝０．４μｍとなるが、観測される位相分布は、焦点位置を０．１μｍずらしただけでも大きく変化してしまう。

【０００７】

さらに、本発明者による観察物体表面近傍における詳細かつ入念な電場解析によれば、特異点は必ずしも観察物体表面上に焦点が合ったときに現れるわけではないことが判明した。このことを図４および図５を用いて説明する。

【０００８】

図４（ａ）は、本発明者が電場解析に用いた観察物体（回折格子）のモデルを示すものである。このモデルは、酸化シリコン（SiO_2）基板１５上に、２μｍの周期で、幅１．５μｍ、間隔０．５μｍ、厚さ０．２μｍの窒化シリコン（Si_3N_4）膜１６を形成したものである。SiO_2 基板１５および Si_3N_4 膜１６の屈折率ｎは、それぞれｎ＝１．５およびｎ＝２とした。この観察物体に、上方から波長λ＝０．６３μｍで、溝に沿って平行（紙面に垂直）な電場を持つＰ偏光の平面波を垂直に入射させる。

【０００９】

図４（ｂ）は、図４（ａ）に示した観察物体を、ＮＡ＝０．９の対物レンズから見たときに、観察物体表面近傍にできる見かけの電場の位相分布の等高線を示すものである。この

場合、観察物体の構造に基づく特異点は、観察物体の表面ではなく、SiO_2 基板１５の内側約０．０８μｍの位置に現れる。

【００１０】

図５は、図４（ａ）に示した観察物体に対し、図４（ｂ）に示した特異点が現れる深さ位置z_0から、その焦点深度（±０．４μｍ）の範囲内で、０．１μｍ毎に焦点位置を変化させたときに、ＮＡ＝０．９の対物レンズによって測定される位相分布の変化を示したものである。ここで、z_{0+}は特異点のごく僅か上方の位置を、z_{0-}はそのごく僅か下方の位置を示す。図５から明らかなように、対物レンズの焦点位置が、上方からz_0を経て下方へ通過すると、特異点の位置z_0における位相の飛びが、＋１８０°から－１８０°へと変化する。これは、位相の飛び＋１８０°と－１８０とが数学的に等価であることに起因する。ただし、位相軸の原点は任意にとれるので、z_0における特異点での位相の飛びの根元を０とした。

【００１１】

対物レンズの焦点がz_0に合焦している場合は、特異点において鋭い位相の飛びが見られるとともに、特異点を境にして位相の飛びの方向が±１８０°逆転する。この飛びの横位置は、観察物体の表面段差の横位置にほぼ一致するので、その段差の横位置ｘは、この位相飛び位置の測定精度で求まることになる。

【００１２】

一方、対物レンズが、z_0－０．４μｍまたはz_0＋０．４μｍの位置に合焦している場合は、特異点近傍において急激な位相の変化があるものの、位相の飛びが見られないため、特異点の位置の特定が難しくなる。

【００１３】

以上のように、特異点近傍では、対物レンズの焦点深度０．４μｍの範囲の焦点位置の変化でも、位相分布が大きく変化する。したがって、特異点をもとに観察物体の形状を測定するには、対物レンズの焦点位置を正確に特異点に合わせることが望ましく、しかも、その特異点は、観察物体の表面にあるとは限らない、ということが分かる。

【００１４】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来の形状測定器では、観察物体の明視野像を見ながら、その像が鮮鋭に見えるように対物レンズの位置を調整するか、あるいは自動合焦装置（ＡＦ）を用いて対物レンズの位置を調整するようにしているため、いずれの場合も、通常の焦点深度程度の焦点誤差を含むことになる。このため、観察物体の形状を測定しようとしても、常に特異点が現れる位置で測定することができず、再現性および精度の良い計測値を求めることが非常に困難であるという問題がある。

【００１５】

この発明は、このような従来の問題点に着目してなされたもので、観察物体の形状を、再現性および精度良く測定できるよう適切に構成した形状測定器を提供することを目的とするものである。

【００１７】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する請求項１に係る発明は、光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、

前記焦点調節手段は、前記観察物体上の位相分布を測定して検出される特異点を用いて、該特異点における位相の飛びがある閾値を越えるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とするものである。

請求項２に係る発明は、光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせ

を行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記観察物体上の位相分布を測定して検出される特異点を用いて、該特異点における位相の飛びの符号が逆転する位置近傍に、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とするものである。
請求項３に係る発明は、光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記観察物体上の位相分布を測定して検出される特異点を用いて、２つの特異点間における位相分布が平坦になるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とするものである。
請求項４に係る発明は、光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記観察物体上の位相分布を測定して検出される特異点を用いて、２つの特異点間における位相分布の差分の絶対値の最大値が小さくなるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とするものである。
請求項５に係る発明は、光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記干渉像の差分画像に基づいて検出される特異点を用いて、該特異点における前記干渉像の差分が大きくなるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とするものである。
請求項６に係る発明は、光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記干渉像の差分画像に基づいて検出される特異点を用いて、前記干渉像の差分値が所定の閾値を越えるように、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とするものである。
請求項７に係る発明は、光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器であって、
前記焦点調節手段は、前記干渉像の差分画像に基づいて検出される特異点を用いて、該特異点における前記干渉像の差分値の符号が逆転する位置近傍に、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とするものである。
【００１９】
【発明の実施の形態】
この発明による形状測定器では、測定した位相分布の特異点が明確に現れるように、焦点調節手段により観察物体に対する結像光学系の焦点位置を調節することにより、観察物体の形状を再現性および精度良く測定することを可能としている。
【００２０】
ここで、再び図４および図５を用いて、この発明に係る形状測定器を用いる特異点の検出方法について説明する。実際の測定に際しては、まず、観察物体の明視野像を用いて、結像光学系を構成する対物レンズの焦点位置を観察物体のほぼ表面に合わせる。その際、例えば、対物レンズが観察物体の表面に正確に合焦すると、その焦点位置は、図４（ｂ）よ

り、z_0の位置から対物レンズ側（上方）に０．２８μｍ離れた位置、すなわちz_0からSiO_2基板１５の表面までの距離０．０８μｍと、Si_3N_4膜１６の高さ０．２μｍとを加えた位置にあるので、観察される位相分布は、図５に、z_0＋０．３μｍで示すようなカーブとなる。しかし、この位相分布は、全体的に滑らかで、急激な位相の飛びの部分が存在していないため、特異点の位置の特定は困難となる。

【００２１】

次に、焦点位置を０．１μｍ上方に移動してみると、観察される位相分布は、z_0＋０．４μｍで示されるカーブとなる。この場合は、以前よりも位相分布がより滑らかになり、特異点の特徴が薄れるので、間違った方向に焦点移動したと判断することができる。

【００２２】

そこで、次に下方に焦点位置を移動して行くことにする。０．１μｍ毎に焦点位置を下方に移動しながら位相分布を測定して行くと、図５のz_0＋０．２μｍで示されるカーブ、およびz_0＋０．１μｍで示されるカーブのように、次第に特異点付近での位相の立ち上がりが急になり、z_0で遂に特異点での１８０°の位相の飛びが観測され、これにより特異点の位置を精度良く容易に特定することができる。

【００２３】

焦点位置を特異点の下方より始めた場合も同様である。この場合も、特異点の特徴である位相の飛びが大きくなるように上方に焦点を合わせ直してゆくと、遂には、１８０°の位相の飛びが観測される焦点位置に到着するので、特異点を精度良く求めることができる。

【００２４】

なお、焦点位置の一回当たりの移動量は、０．１μｍに限らず、特異点から遠い位置においては、移動量を大きくして早く特異点近傍に到着するようにし、特異点近傍においては、移動量を小さくして特異点に精密に近づけるようにすることにより、特異点の位置を効率良く、しかも精度良く特定することができる。

【００２５】

以上の説明では、１８０°の位相の飛びが観測されることを前提にしたが、実際には、光学的ノイズや電気的ノイズ等の外乱要因によって、必ずしも１８０°の位相の飛びを検出できるわけではない。また、観察物体によっては、特異点における位相の飛びが１８０°より小さく、かつその上下において位相が逆転しない場合もある。そのような場合には、位相の飛びが最大となるように焦点位置を調節すれば良い。また、特異点近傍での位相変化の傾き、すなわち微分値を算出し、その微分値が最大となるように焦点位置を調節しても良い。

【００２６】

さらに、位相の飛びとある閾値とを比較し、その比較結果に基づいて、焦点位置を調節するようにしても良い。例えば、観察物体の材質や形状の見当が予め付いている場合は、理論的または経験的に特異点近辺における位相の飛びの量が予想できるので、実用上許容できる焦点範囲における位相飛びの値に基づいてある閾値を予め設定し、観察される位相飛びの量がその閾値を越えるように焦点位置を調節しても良い。

【００２７】

また、特異点の上下では、位相の飛びの方向が反転するので、その性質を利用して焦点位置を特異点に近づけるようにしてもよい。この場合は、初めは焦点移動量を大きく取りながら位相分布を測定し、位相の飛びの方向が反転したら、焦点移動の方向を逆にすると共に、その移動量を小さくまたは半分にして、同様の動作を繰り返せば、特異点に速く到達することができる。

【００２８】

さらに、特異点に合焦している場合は、２つの特異点の間で位相分布が平坦になるので、その性質を利用して、位相分布の差分をとり、その絶対値の最大が小さくなるように、焦点位置を調節しても良い。

【００２９】

また、特異点は、複数の干渉像から観察物体面近辺の位相を算出しなくても、干渉像その

ものから観察することもできる。すなわち、干渉計測においては、一般に、観察物体の干渉計に対する共役像に対して参照物体を若干傾け、観察物体の像上にほぼ一定間隔で並んだほぼ直線よりなる干渉縞を生成させるようにしている。この場合、特異点に合焦したときに生じる干渉縞は、位相分布を高さで表したときの断面に近い形状を示す。例えば、図４に示した回折格子モデルにおいて、特異点に合焦した場合には、その干渉縞は、図６に拡大写真で示すようになる。すなわち、特異点近傍においては、位相が急激に変化するので、干渉縞の形もそこだけ急激に変化することになる。したがって、画像処理等の方法によって干渉像の差分画像をとれば、その値は特異点近傍のみ大きくなるので、前述した位相の飛びを干渉像の差分で置き換えることにより、特異点の位置を特定することができる。

【００３０】

なお、以上の説明は、上述したトワイマン・グリーンタイプを含む二光束干渉計に限らず、マイケルソンタイプを含むシェアリング干渉計、サバール偏光器等の共通光路干渉計等、およそ観察物体の形状に応じた干渉画像を生成できる種々の干渉計を用いる場合も同様である。

【００３１】

【実施例】

以下、この発明の実施例について図面を参照して説明する。

図１は、この発明に係る形状測定器の第１実施例を示すものである。この形状測定器では、レーザ光源２１より平行光となって射出されるコヒーレントな照明光を、ビームエキスパンダ２２により適当な径に広げたのち、ハーフミラーよりなるトワイマン・グリーンタイプの干渉装置２３により、観察物体２４へ向かう観察光路２５と参照物体２６へ向かう参照光路２７とに分割する。また、観察物体２４および参照物体２６で反射される光は、観察光路２５および参照光路２７を引き返して、干渉装置２３によって再び合成して干渉させ、その合成像を結像光学系を構成する対物レンズ２８により、所定の結像面に配置した例えばＣＣＤよりなる撮像装置２９上に形成して、その像をコントローラ３０に取り込むようにする。

【００３２】

コントローラ３０では、撮像装置２９から取り込んだ干渉像を明視野像として画像表示装置３１に表示したり、あるいは取り込んだ複数の干渉像から位相分布を演算して画像表示装置３１に表示するようにする。なお、観察物体２４は、例えばピエゾ素子からなる焦点調節装置３２上に固定し、参照物体２６は、例えばピエゾ素子からなる位相変調装置３３に固定して、これら焦点調節装置３２および位相変調装置３３をコントローラ３０により駆動制御するようにする。

【００３３】

この実施例における観察物体２４の観察方法は、次の通りである。まず、画像表示装置３１で明視野像を観察しながら、対物レンズ２８の焦点を観察物体２４の表面に合わせる。なお、この焦点合わせは、撮像装置２９からの信号に基づいて、コントローラ３０により焦点調節装置３２を駆動して自動的に行うＡＦでもよい。次に、コントローラ３０により位相変調装置３３を駆動して、いわゆる４バケット方式に代表されるフリンジスキャン法などに基づいて、参照物体２６を光軸方向に、例えば１／４波長づつ移動させながら、例えば４～５枚の干渉像を取り込み、その複数の画像から観察物体２４上の現在の焦点位置における位相分布を算出する。

【００３４】

その後、コントローラ３０により焦点調節装置３２を駆動して、観察物体２４を光軸方向に僅かに移動し、その状態で、同様の手順により、当該焦点位置における位相分布を算出する。次に、コントローラ３０において、上記のようにして算出した２つの位相分布から、より特異点の特徴が出ている焦点位置を自動的に選択して、次の位相分布を測定する焦点位置を設定し、同様な手順を繰り返す。特異点を明確に特定できる焦点位置に到達したら、その位置での位相分布により観察物体２４の形状を測定する。

【００３５】
なお、図１では、レーザ光源２１を用いたが、それに代えて白熱光源を用いることもできる。その場合は、レーザ光特有のスペックルノイズを回避することができるので、精度の良い測定が可能となる。ただし、この場合は、白熱光源と観察物体２４との間の照明光学系に、照明光のコヒーレンス度を調整する明るさ絞り（ＡＳ）および単色フィルタを挿入する必要がある。これらＡＳの径および単色フィルタのバンド幅は、干渉像の明るさと、観察物体２４上でのコヒーレンス度との兼ね合いにより選択する。
【００３６】
また、位相変調装置３３は、使用する光の周波数を変調する周波数変調手段をもって構成することもできる。すなわち、観察光路２５と参照光路２７との光路長差が物理的に固定されている場合には、使用する光の波長を変えると、それに反比例して位相差も変化するので、周波数変調手段により光の波長を変えれば、上述したと同様の作用を行わせることができる。この場合の周波数変調手段は、例えば、レーザ光源２１と撮像装置２９との間の光路中に波長可変フィルタを挿入したり、あるいはレーザ光源２１として、半導体レーザ等の波長可変光源を用いて構成することができる。
【００３７】
図２は、この発明に係る形状測定器の第２実施例を示すものである。この形状測定器は、ハーフミラー４１、サバール板４２およびアナライザ４３を有する共通光路干渉計を用いるもので、レーザ光源４４より平行光となって射出されるコヒーレントな照明光を、ビームエキスパンダ４５により適当な径に広げたのち、ハーフミラー４１に入射させ、ここで反射させる照明光をサバール板４２を経て観察物体４６に照射する。サバール板４２は、入射した光線をサバール板に固有の直交する２方向の偏光成分に分解し、その一方をある量（シェア量）だけ横に平行移動して射出する。したがって、その一方の偏光成分の光路を観察光路４７とし、他方の偏光成分の光路を参照光路４８とすれば、観察物体４６自身をサバール板４２のシェア量だけ横ずらしした参照物体とみなすことができる。
【００３８】
観察物体４６で反射される直交する偏光成分は、サバール板４２で再びひとつの光路としてハーフミラー４１に入射させ、このハーフミラー４１を透過する反射光をアナライザ４３に入射させる。ここで、サバール板４２に入射する互いに直交する偏光成分の観察物体４６からの反射光は干渉を起こさないが、これらの反射光はアナライザ４３によって偏光成分が揃えられるので、ここで干渉を起こすことになる。このアナライザ４３に形成される干渉像は、結像光学系を構成する対物レンズ４９により、所定の結像面に配置した例えばＣＣＤよりなる撮像装置５０上に投影して、その像をコントローラ５１に取り込むようにする。
【００３９】
コントローラ５１では、第１実施例と同様に、撮像装置５０から取り込んだ干渉像を明視野像として画像表示装置５２に表示したり、あるいは取り込んだ複数の干渉像から位相分布を演算して画像表示装置５２に表示するようにする。なお、観察物体４６は、例えばピエゾ素子からなる焦点調節装置５３上に固定し、この焦点調節装置５３をコントローラ５１により駆動して、観察物体４６を対物レンズ４９の光軸方向に移動させるようにする。
【００４０】
また、観察光路４７を通る偏光成分と参照光路４８を通る偏光成分との位相差を調整するため、レーザ光源４４とアナライザ４３との間の任意の光路中、図２ではビームエキスパンダ４５とハーフミラー４１との間の光路中に位相変調装置５４を配置する。この位相変調装置５４は、偏光補償板５４ａと、その駆動装置５４ｂとを用いて構成し、コントローラ５１により駆動装置５４ｂを駆動して偏光補償板５４ａを、例えば光軸を中心に回動させるようにする。
【００４１】
この実施例においても、第１実施例と同様にして、まず、画像表示装置５２で明視野像を撮像しながら、対物レンズ４９の焦点を観察物体４６の表面に合わせ、その状態で、コン

トローラ５１により位相変調装置５４を駆動して、直交する成分の位相差を変調して複数枚の干渉像を取り込み、その複数の画像から観察物体４６上の現在の焦点位置における位相分布を算出する。

【００４２】

その後、コントローラ５１により焦点調節装置５３を駆動して、観察物体４６を光軸方向に僅かに移動し、その状態で、同様の手順により、コントローラ５１において当該焦点位置における位相分布を算出して、前回算出した位相分布と比較し、その比較からより特異点の特徴が出ている焦点位置を自動的に選択して、次の位相分布を測定する焦点位置を設定し、同様な手順を繰り返す。特異点を明確に特定できる焦点位置に到達したら、その位置での位相分布により観察物体４６の形状を測定する。

【００４３】

この実施例によれば、参照物体が観察物体４６そのものであるので、コントラストの極めて高い干渉縞を得ることができると共に、観察光路４７および参照光路４８がほぼ共通なので、観察物体４６の干渉計に対する振動による影響を受けにくいという利点がある。また、偏光補償板５４ａにより、観察光路４７を通る偏光成分と参照光路４８を通る偏光成分との位相差を変調するようにしているので、位相差を精度良く安定して制御できる利点がある。したがって、観察物体４６の形状をより再現性および精度良く測定することができる。

【００４４】

付記項

１．光源と、該光源から発した光を観察物体および参照物体に導く照明手段と、前記観察物体および参照物体からの光を干渉させる干渉手段と、該干渉手段により生成される干渉像を所定の結像面に形成する結像手段と、該結像手段の焦点合わせを行う焦点調節手段とを有する形状測定器において、

前記焦点調節手段は、少なくとも前記干渉像によって観察される特異点を用いて、前記観察物体に対する前記結像手段の焦点合わせを行う機能を有することを特徴とする形状測定器。

２．付記項１記載の形状測定器において、

前記焦点調節手段は、少なくとも２種類の焦点調節機能を有し、そのうちの１つが前記干渉像によって観察される特異点を用いて焦点合わせを行うことを特徴とする形状測定器。

３．付記項２記載の形状測定器において、

前記焦点調節手段は、前記干渉像の明視野像を用いて焦点合わせを行う機能を有することを特徴とする形状測定器。

４．付記項１記載の形状測定器において、

前記焦点調節手段は、少なくとも２種類の自動焦点調節機能を有し、そのうちの１つが前記干渉像によって観察される特異点を用いて焦点合わせを自動的に行うことを特徴とする形状測定器。

５．付記項１～４のいずれか記載の形状測定器において、

前記焦点調節手段は、前記結像手段の焦点位置が前記特異点から離れた位置にあるときは、焦点合わせの移動量を大きくし、前記焦点位置が前記特異点の近傍の位置にあるときは、焦点合わせの移動量を小さくすることを特徴とする形状測定器。

６．付記項１～５のいずれか記載の形状測定器において、

前記特異点は、前記観察物体上の位相分布を測定して検出することを特徴とする形状測定器。

７．付記項６記載の形状測定器において、

前記焦点調節手段は、前記特異点における位相の飛びが大きくなるように焦点合わせを行うことを特徴とする形状測定器。

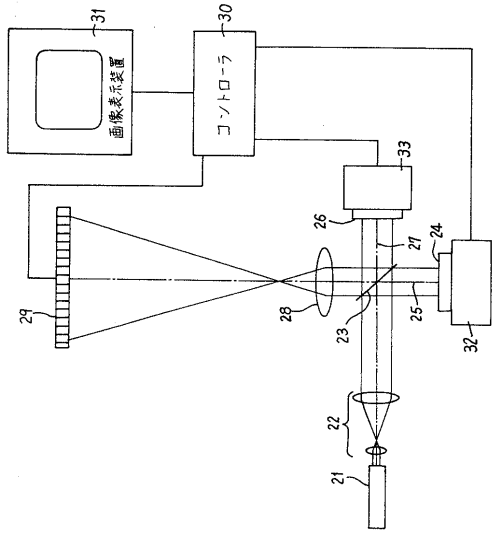
８．付記項６記載の形状測定器において、

前記焦点調節手段は、前記特異点における前記位相の飛びがある閾値を越えるように焦点合わせを行うことを特徴とする形状測定器。

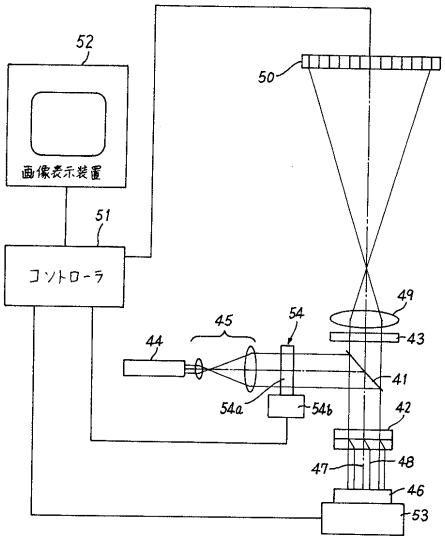
９．付記項６記載の形状測定器において、
前記焦点調節手段は、前記特異点における前記位相の飛びの符号が逆転する位置近傍に焦点合わせを行うことを特徴とする形状測定器。
１０．付記項９記載の形状測定器において、
前記干渉像によって観察される特異点を用いて前記焦点調節手段により前記結像手段の焦点位置を調節する際に、まず１回あたりの焦点合わせの移動量を比較的大きくとり、前記特異点における前記位相の飛びの符号が逆転したら、焦点合わせの移動方向を逆にすると共に、その移動量を小さくまたは半分にする動作を繰り返し行うことを特徴とする形状測定器。
１１．付記項６記載の形状測定器において、
前記焦点調節手段は、２つの特異点間における位相分布が平坦になるように焦点合わせを行うことを特徴とする形状測定器。
１２．付記項６記載の形状測定器において、
前記焦点調節手段は、２つの特異点間における位相分布の差分の絶対値の最大値が小さくなるように焦点合わせを行うことを特徴とする形状測定器。
１３．付記項６～１２のいずれか記載の形状測定器において、
前記位相分布は、前記撮像手段で撮像した複数の干渉像に基づいて測定することを特徴とする形状測定器。
１４．付記項１３記載の形状測定器において、
前記位相分布は、フリンジスキャンにより算出することを特徴とする形状測定器。
１５．付記項１～５のいずれか記載の形状測定器において、
前記特異点は、前記干渉像の差分画像に基づいて検出することを特徴とする形状測定器。
１６．付記項１５記載の形状測定器において、
前記焦点調節手段は、前記特異点における前記干渉像の差分が大きくなるように焦点合わせを行うことを特徴とする形状測定器。
１７．付記項１５記載の形状測定器において、
前記焦点調節手段は、前記干渉像の差分値が所定の閾値を越えるように焦点合わせを行うことを特徴とする形状測定器。
１８．付記項１５記載の形状測定器において、
前記焦点調節手段は、前記特異点における前記干渉像の差分値の符号が逆転する位置近傍に焦点合わせを行うことを特徴とする形状測定器。
１９．付記項１８記載の形状測定器において、
前記干渉像によって観察される特異点を用いて前記焦点調節手段により前記結像手段の焦点位置を調節する際に、まず１回あたりの焦点合わせの移動量を比較的大きくとり、前記特異点における前記干渉像の差分値の符号が逆転したら、焦点合わせの移動量を小さくすると共に、その移動方向を逆にする動作を繰り返し行うことを特徴とする形状測定器。
【００４５】
【発明の効果】
以上のように、この発明の焦点調節方法によれば、所定の結像面に形成される観察物体の干渉像から得られる特異点を用いて、観察物体に対する結像光学系の焦点位置を調整するようにしたので、その焦点位置を観察物体の形状を測定するのに適した位置に精度良く調整でき、したがって観察物体の形状を再現性および精度良く測定することが可能となる。
【００４６】
さらに、この発明の形状測定器によれば、上記の焦点調節方法を適用して観察物体に対する結像光学系の焦点位置を調節するようにしたので、従来の形状測定器では困難であった特異点の位置を精度良く再現でき、したがって再現性および精度良く観察物体の形状を測定することが可能となる。
【図面の簡単な説明】
【図１】この発明に係る形状測定器の第１実施例を示す図である。
【図２】同じく、第２実施例を示す図である。

【図３】従来の形状測定器を示す図である。
【図４】本発明者が行った観察物体表面近傍における電場解析を説明するための図である。
【図５】同じく、位相分布の変化を示す図である。
【図６】特異点に合焦したときに得られる干渉縞の拡大写真である。
【符号の説明】
２１　レーザ光源
２２　ビームエキスパンダ
２３　干渉装置
２４　観察物体
２５　観察光路
２６　参照物体
２７　参照光路
２８　対物レンズ
２９　撮像装置
３０　コントローラ
３１　画像表示装置
３２　焦点調節装置
３３　位相変調装置
４１　ハーフミラー
４２　サバール板
４３　アナライザ
４４　レーザ光源
４５　ビームエキスパンダ
４６　観察物体
４７　観察光路
４８　参照光路
４９　対物レンズ
５０　撮像装置
５１　コントローラ
５２　画像表示装置
５３　焦点調節装置
５４　位相変調装置

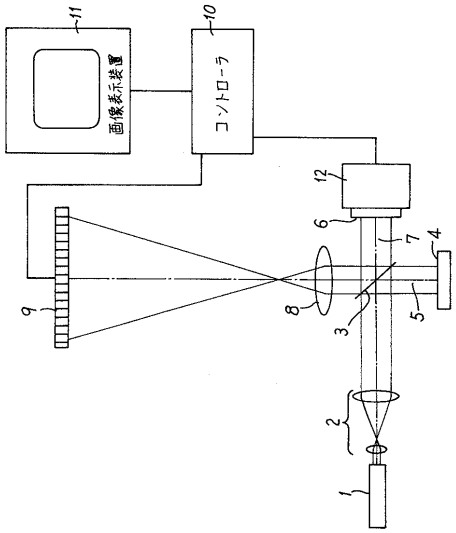
【図１】


画像表示装置
コントローラ
31
30
33
26
27
24
29
28
23
25
32
22
21

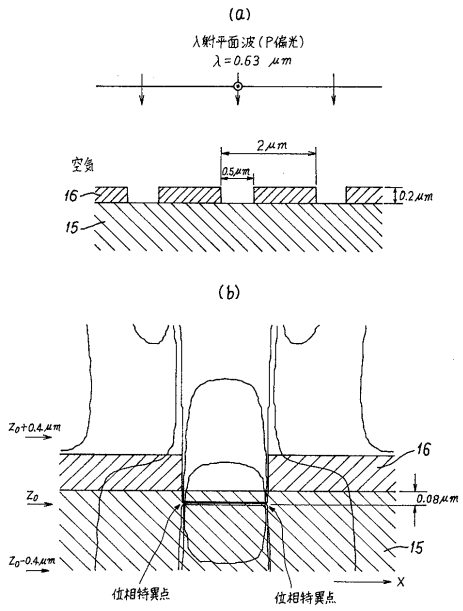
【図２】


52
画像表示装置
50
51
コントローラ
49
45
54
44
43
41
54a
54b
42
47
48
46
53

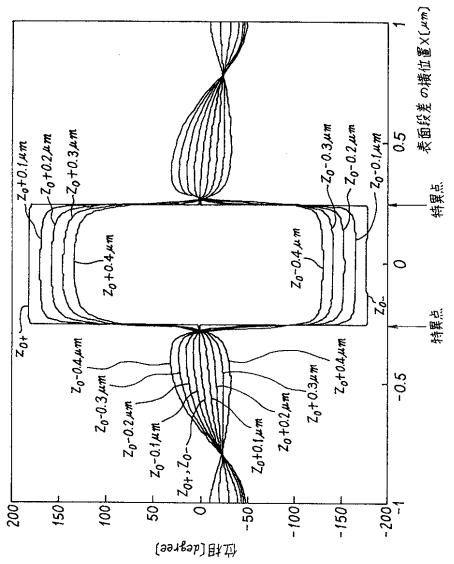
【図３】


11
画像表示装置
10
コントローラ
12
6
7
4
9
8
3
5
2
1

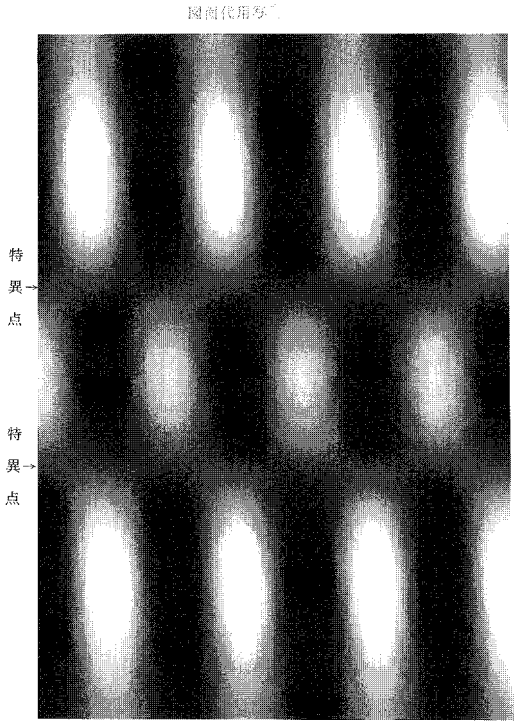
【図４】


(a)
入射平面波(P偏光)
λ=0.63 μm
2μm
0.5μm
空気
0.2μm
16
15
(b)
Z0+0.4μm
Z0
Z0-0.4μm
16
0.08μm
15
X
位相特異点
位相特異点

【図５】


位相[degree]
表面段差の横位置X(μm)
特異点
特異点
Z0+0.1μm
Z0+0.2μm
Z0+0.3μm
Z0+0.4μm
Z0
Z0-0.4μm
Z0-0.3μm
Z0-0.2μm
Z0-0.1μm

【図６】


特異点
特異点

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭６３－１００３０２（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－１６８７１２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01B 11/00～11/30
G02B 7/28
G03B 3/00