

(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2008-76336

(P2008-76336A)

(43) 公開日 平成20年4月3日(2008.4.3)

(51) Int.Cl.  
G01B 11/00 (2006.01)

F I  
G01B 11/00 B

テーマコード(参考)  
2F065

審査請求 有 請求項の数 2 OL (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2006-258651 (P2006-258651)  
(22) 出願日 平成18年9月25日 (2006.9.25)

(71) 出願人 504237050  
独立行政法人国立高等専門学校機構  
東京都八王子市東浅川町701番2  
(72) 発明者 松田 文夫  
愛知県日進市香久山一丁目3515番地  
(72) 発明者 西脇 彰  
愛知県春日井市高蔵寺町北1の126  
(72) 発明者 杉浦 純平  
愛知県豊橋市草間町郷裏6 スカイマンシ  
ョン103  
Fターム(参考) 2F065 AA06 FF04 FF06 FF09 FF51  
GG04 JJ26 LL04 QQ31

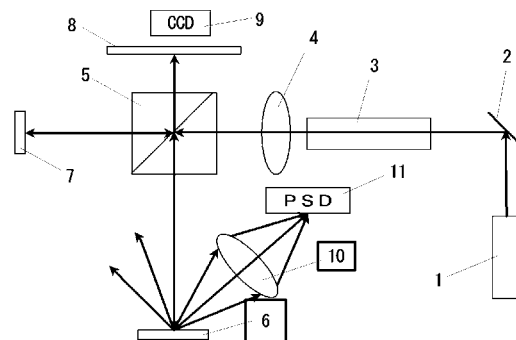
(54) 【発明の名称】 干渉・三角測量同一光軸複合距離計測装置

(57) 【要約】

【課題】干渉縞による微小変位計測と三角測量法による変位計測を組み合わせた、簡便かつ高精度の同一光軸複合距離計測装置を提供する。

【解決手段】拡散面の面垂直方向の変位を計測する装置において、拡散面に照射する一つのレーザー光と、拡散面と参照面からの反射光によって生じる干渉縞と、これを読みとる光学装置と、この画像を処理して拡散面の変位によって生じる同心円上の干渉縞の円中心方向への沈み込みまたは円中心からの湧き上がりの移動からレーザー光の半波長以内の範囲で拡散面の変位を算出する部分と、拡散面からの反射光を受けるレンズと、拡散面からの反射光を集めた点の位置を知る位置検出素子と、位置検出素子の位置から三角測量の原理を用いて拡散面の変位を算出する部分を備えた干渉・三角測量同一光軸複合距離計測装置。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

拡散面の面垂直方向の変位を計測する装置において、拡散面に照射する一つのレーザー光と、拡散面と参照面からの反射光によって生じる干渉縞と、これを読みとる光学装置と、この画像を処理して拡散面の変位によって生じる同心円上の干渉縞の円中心方向への沈み込みまたは円中心からの湧き上がりの移動からレーザー光の半波長以内の範囲で拡散面の変位を算出する部分と、拡散面からの反射光を受けるレンズと、拡散面からの反射光を集めた点の位置を知る位置検出素子と、位置検出素子の位置から三角測量の原理を用いて拡散面の変位を算出する部分を備えたことを特徴とする干渉・三角測量同一光軸複合距離計測装置。

10

## 【請求項 2】

干渉縞の円中心方向への沈み込みまたは円中心からの湧き上がりの移動から求められるレーザー光の半波長以内の範囲での拡散面の変位と、位置検出素子の位置から三角測量の原理を用いて求められる拡散面の変位から干渉縞による方法の測定精度と、三角測量による方法の測定範囲を有する計測値を算出する部分を備えた請求項 1 に記載の干渉・三角測量同一光軸複合距離計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、面の垂直方向の変位を非接触に計測する干渉・三角測量同一光軸複合距離計測装置に関する。

20

## 【背景技術】

## 【0002】

物体面の凹凸や変位を非接触で高精度に計測する要求に対し、レーザーを用いたスペckル光の干渉による微小変位計測がある。この手法は、被測定物体表面が拡散面であっても照射レーザー光のスポット径を小さく絞ることにより、粗面からの反射光をあたかも鏡面からの反射光のように得ることが可能となり、参照光との干渉によって干渉縞を形成し、この干渉縞のフリンジの半径方向への移動距離から、測定面の変位を求めるものである。この欠点は反波長（Heレーザー波長：633nm）以上の変位に対しては、変位が連続しない限り、フリンジの移動が、半波長周期で何回移動した結果が判別できないことである。

30

従って測定範囲は半波長以内となる。測定スポット径は4.8μmである。測定精度はフリンジの一つ分の移動距離の10分の1から100分の1の読み取りが可能と考えれば、およそ(63.3/2)nmから(6.33/2)nmとなる。

一方、同様の要求に対して、三角測量の手法によって被測定面の変位を求める方法もある。この方法は製品としてはすでに存在し、その一例として、カタログ状の仕様は測定範囲が±0.2mmで、測定精度が0.001μm、最小スポット径が20×12μmである。測定精度が0.01μmはカタログ上で、実際は0.1μm=100nm程度と考えられる。

## 【0003】

非特許文献1には、拡散面であっても照射レーザーのスポット径を小さく絞ることにより、拡散面である被測定面からの反射光をあたかも鏡面からの反射光のように得ることが可能となり、この被測定面からの反射光と参照面からの反射光との干渉によって干渉縞を形成して、被測定面の面垂直方向の変位が同心円上の干渉縞の円中心方向への沈み込みまたは湧き上がりの移動となって表示され、移動量から被測定面の変位が算出される方法がすでに提案されている。

40

## 【0004】

【非特許文献1】レーザー研究、Vol.32、pp538~542、2004

## 【0005】

また、三角測量による変位計測はすでに確立した方法であり、製品としても数多く存在している。カタログ値の測定範囲と測定精度の一例として、(±8mm, 500nm)と

50

( $\pm 0.2\text{ mm}$ ,  $10\text{ nm}$ ) が記載されている。

【0006】

拡散面であることが多い加工中の垂直方向の変位を非接触で高精度に計測する要求に対して、スペックル光の干渉による微小変位計測と、三角測量の手法による変位計測を用いて、干渉縞による測定精度と三角測量の測定範囲を有する変位計測が可能である。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上記変位計測の問題点は、二つの方法の計測点が同一でないことがあげられる。計測点が違う限り計測できたことにならない。また、干渉縞による測定精度と三角測量の測定範囲である微小変位計測を可能にするには、スペックル光の干渉による微小変位計測と三角測量の手法による変位計測をどのように組み合わせるかが課題である。

10

【0008】

したがって、本発明の目的は、干渉縞による微小変位計測と三角測量法による変位計測を組み合わせ、簡便でかつ高精度の同一光軸複合距離計測装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

すなわち、請求項1に記載の発明は、拡散面の面垂直方向の変位を計測する装置において、拡散面に照射する一つのレーザー光と、拡散面と参照面からの反射光によって生じる干渉縞と、これを読みとる光学装置と、この画像を処理して拡散面の変位によって生じる同心円上の干渉縞の円中心方向への沈み込みまたは円中心からの湧き上がりの移動からレーザー光の半波長以内の範囲で拡散面の変位を算出する部分と、拡散面からの反射光を受けるレンズと、拡散面からの反射光を集めた点の位置を知る位置検出素子と、位置検出素子の位置から三角測量の原理を用いて拡散面の変位を算出する部分を備えたことを特徴とする干渉・三角測量同一光軸複合距離計測装置である。

20

【0010】

また、請求項2に記載の発明は、干渉縞の円中心方向への沈み込みまたは円中心からの湧き上がりの移動から求められるレーザー光の半波長以内の範囲での拡散面の変位と、位置検出素子の位置から三角測量の原理を用いて求められる拡散面の変位から干渉縞による方法の測定精度と、三角測量による方法の測定範囲を有する計測値を算出する部分を備えた請求項1に記載の干渉・三角測量同一光軸複合距離計測装置である。

30

【発明の効果】

【0011】

本発明によって、被測定物が鏡面でない拡散面である加工中の製品の加工面の凹凸や面垂直変位を非接触で、測定精度は干渉縞による精度を持ち、測定範囲は三角測量の範囲を持つ微小変位計測を実現することができた。これによって、従来の加工方法や検査方法をより簡便にかつ高い精度で行うことができた。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下、本発明の実施形態を図面により具体的に説明する。

40

図1は、スペックル光の干渉縞による変位計測と三角測量による変位計測に対して、同じ物体照射レーザー光軸を用いて、計測点を同じにする方法を示す。

【0013】

まず、スペックル光の干渉縞による変位計測の原理を述べる。レーザー光源1からのレーザー光は平面ミラー2で反射され、ビームエキスパンダ3でレーザービームは拡大されさらに平行光線となる。この平行光線は凸レンズ4で、ビームスプリッタ5を通して、被測定面6と参照面7の表面の一点に集められる。これらの2点は凸レンズ4の焦点距離となる。被測定面6と参照面7の表面に照射されるレーザー光のスポット径は非常に小さく、これらの表面が拡散面であっても、あたかも鏡面のように振る舞うと考えられる。

【0014】

50

被測定面 6 と参照面 7 の表面からの反射光は、再びビームスプリッタ 5 を通して、スクリーン 8 に図 4 に示すような同心円状の干渉縞を作る。この干渉縞は、どの円（フリンジ）もコーン状であるので、スクリーン 8 をビームスプリッタ 5 と CCD カメラ 9 との間どの位置に置いても干渉縞は可視化される。スクリーン 8 上の干渉縞は CCD カメラ 9 を通してコンピュータに取り込まれ、画像処理がされる。

【 0 0 1 5 】

図 2 は、拡散面である測定面と参照面からの反射光で作られる同心円状の干渉縞の写真である。画像処理によって、被測定面の面垂直方向の動きによって湧き上がったたり、沈み込んだりするフリンジ R 1 の半径方向の移動量を二つのフリンジ R 1 と R 2 の間隔内で求める。被測定面の面垂直方向の変位は、半波長（ $\lambda/2$ ）の整数倍の変位と  $\lambda/2$  以内の変位の和で表されるが、この画像処理では、 $\lambda/2$  以内の変位のみが求まる。

10

【 0 0 1 6 】

三角測量の手法による変位計測にも、干渉縞による変位計測に用いた被測定面 6 への照射光をそのまま用いる。被測定面 6 で拡散反射された散乱光は凸レンズ 10 を通して、位置検出素子（PSD）上の一点に集められる。この位置情報は電圧または電流の大きさと与えられる。この位置から被測定面 6 の干渉縞で求める変位と比較しておおまかな変位が求まる。

【 0 0 1 7 】

図 2 は、干渉縞による微小変位計測と、三角測量による被測定面の変位計測を、組み合わせることによって、測定精度は干渉縞による測定精度の値を持ち、測定範囲は三角測量の範囲を持つ微小変位計測を可能にする方法における仮想的な位置関係を示す。仮想被測定面 1 2 は算出上の被測定面 6 を示す。

20

【 0 0 1 8 】

被測定面 6 の面垂直方向の変位  $x$  は、式（1）で表される。半波長（ $\lambda/2$ ）の整数倍  $n$  の変位と  $\lambda/2$  以内の変位  $\Delta x$  の和で表される。干渉縞による微小変位計測における画像処理では、 $\lambda/2$  以内の変位  $\Delta x$  のみが求まる。式（1）の整数倍  $n$  は、式（2）で求める。

【 0 0 1 9 】

【数 1】

$$x = (\lambda/2)n + \Delta x \quad (1)$$

30

【 0 0 2 0 】

【数 2】

$$n = \left[ \frac{\Delta b \pm e}{(\lambda/2)} \right] \quad (2)$$

【 0 0 2 1 】

式（2）の  $b$  は、三角法で得られた被測定表面の変位である。 $\pm e$  はその測定精度である。 $[ \quad ]$  は、 $[ \quad ]$  の中の値の小数点以下を切り捨てた整数値とする演算を示す。 $\pm e$  が  $\pm \lambda/4$  以内であれば、 $n$  は二つ（一つ場合もある）存在するが、式（1）で計算した  $x$  の値で  $b \pm e$  に入る  $x$  は一つしか存在しない。したがって、被測定表面の変位  $x$  が得られる。

40

【 0 0 2 2 】

一方、 $\pm e$  が  $\pm \lambda/4$  以上、 $\pm \lambda/2$  より小さい場合は  $n$  の値が三つ（二つ場合もある）存在するが、式（1）で計算した  $x$  の値で  $b \pm e$  に入る二つの中の  $b$  に近い値を被測定表面の変位  $x$  とする。

【 0 0 2 3 】

また、 $\pm e$  が  $\pm \lambda/2$  以上の場合は、 $n$  が四つ以上存在し、式（1）で計算した  $x$  の値で  $b \pm e$  に入る  $x$  の値は、三つ以上となり、この中のどれが被測定表面の変位  $x$  であるかを

50

論理的には決めることは不可能である。ただし  $b \pm e$  が正規分布をしていると仮定すれば、 $b$  に近い値を被測定表面の変位  $x$  とすることも考えられるが、 $\pm e$  が  $b$  を遙かに超えることも考えれば、この算出の適用外するのが妥当である。

【0024】

したがって三角測量法の測定精度  $\pm e$  は、 $\pm b/2$  より小さいことが条件となる。

【0025】

図3は、三角測量の手法による変位計測の詳しい原理を示す。三角測量の手法による被測定表面6の変位を  $b$  とすると、この変位は凸レンズ10を通して位置検出素子11上の変位  $a$  となる。この関係は式(3)で表される。

【0026】

【数3】

$$\Delta b = \Delta a \times \frac{b}{a} \times \frac{l_1}{l_2} \quad (3)$$

【0027】

$L_1$  は被測定物体6上の照射点から凸レンズ10までの距離、 $L_2$  は凸レンズ10から位置検出素子11までの距離を示す。 $a$  は照射レーザー光軸から位置検出素子11上の受光点までの距離、 $b$  は被測定物体6上の照射点から位置検出素子11の表面の垂直方向の距離である。

【実施例】

【0028】

次に、本発明の実施例について、図面を参照しながら説明する。なお、各図は正確なスケールで描かれているものではなく、図面を見やすくするために誇張して描かれている部分がある。

【0029】

< 同一照射点 >

図1に示すように円情報の抽出は、CCDカメラ9から取り込んだ干渉縞画像を2値化処理によって二値化した後、円の中心部から上下方向に画素を走査して円を検出する。測定面が変位する前の画像から抽出した円情報を基準と決めておき、変位した後の情報を比較することにより、円の変位が検出できる。

【0030】

< 同心円状の中心座標とその同心円の半径抽出アルゴリズム >

図5は、同心円状の干渉縞の円中心座標とその第1円と第2円の半径算出の求め方を表した図である。本出願人が特願2005-258340として特許出願ずみの円検出方法は、干渉縞の性質である、ある一定の点を中心に縞の湧き沈みが起こる性質を利用する。同じ測定物の測定で、干渉縞の中心の位置がずれることは考えにくいので、目視により縞の中心位置をあらかじめ決めておく。そして、入力された中心点から縦方向に走査を開始する。二値画像の干渉縞の谷は黒画素となり、また谷は幅を持つため、黒画素が縦方向に連続して出現した点を円との接点と考える。この縦方向に連続して出現する点の数は円を検出するための最適な値が与えられる。ここで最小の円を第1円、2番目に小さい円を第2円とする。第2円の検出には、第1円で検出した円の接点からさらに外方向に走査を行うことによって求まる。

【0031】

図5において、目視による中心点の決定では、本来の中心点とのずれが起こることが予想されるので、入力された中心点からX方向に走査範囲を広げておき、円との2つの交点を求め、交点間の距離が最大になる線の間中点を新たに円の中心座標とする。中心座標が決まった後、その捜査線上の第1円の交点から第1円の半径を求め、交点からさらに走査を延ばし、第2円との交点を求め、これから第2円の半径を求める。

【0032】

本手法では、干渉縞画像に対し画像処理を施すことにより、微小変位の検出を図るが、

10

20

30

40

50

干渉縞である図2の画像から分かるように、円中心部に近い縞の明暗のほうの間隔が大きく、鮮明に写っている。そのため画像処理では、円中心付近の円情報を用いる。干渉縞そのものを用いるのではなく、縞にある暗(谷)の部分を用いる。縞そのものを画像処理に用いない理由は、干渉縞の明度自体が安定していないためである。撮影状況によるところも大きい。実験中では干渉縞の中心から最初の谷と2番目の谷から安定して円情報が得られる。

【0033】

図6は計測の実験装置を示す。干渉の生ずる場所にスクリーン8を配置し、干渉縞の明暗のパターンを映し出し、CCDカメラ9によりパソコンに取り込む。スクリーン8は必ずしも必要ではないが、スクリーンを用いない場合には、光電変換素子を用いての計測が必要となる。

10

【0034】

CCDカメラ9からパソコンに取り込まれた画像は、画像処理により同心円情報を抽出後、基準となる画像との比較を行い、被測定面6の面垂直方向の変位  $x$  が求まる。

【0035】

実験で用いた光学系は、レーザー光源1にHe-Neガスレーザー(波長633nm)を用い、ビームエキスパンダ3により、直径20mmの平行ビームに拡大する。その後、焦点距離  $f = 150\text{mm}$  の凸レンズ4でビームを収束させる。焦点でのスポット径は、 $6.04\mu\text{m}$  となる。CCDカメラ9の解像度は、 $640 \times 640$  である。

【産業上の利用可能性】

20

【0036】

被測定物が鏡面でない拡散面である加工中の製品の加工面の凹凸や面垂直変位を非接触で、測定精度は干渉縞による精度の値を持ち、測定範囲は三角測量の範囲を持つ微小変位計測を可能にすることにより、製品の測定や加工検査を組み込むことが可能になり、加工や検査方法を大きく変えることになる。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】計測を行うためのシステム構成例を表した図である。

【図2】同心円状の干渉縞の図である。

【図3】計測距離の算出方法である。

30

【図4】三角測量による変位計測を表した図である。

【図5】同心円状の円中心を求める方法を示す図である。

【図6】計測装置の一例を示す図である。

【符号の説明】

【0038】

1：レーザー光源

2：平面ミラー

3：ビームエキスパンダ

4：凸レンズ1

5：ビームスプリッタ

40

6：被測定面

7：参照面

8：スクリーン

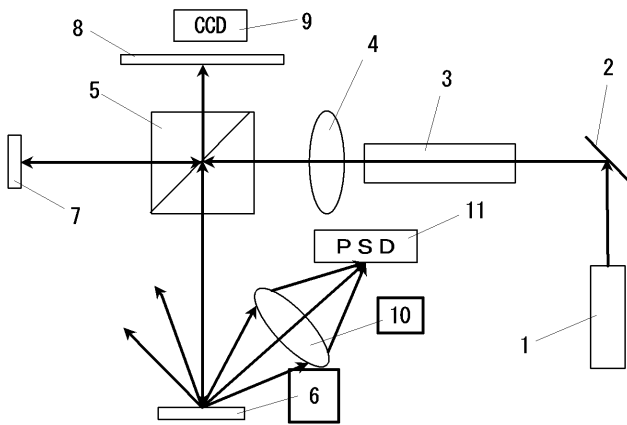
9：CCDカメラ

10：凸レンズ2

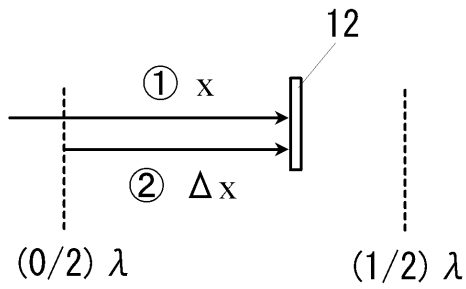
11：位置検出素子

12：仮想被測定面

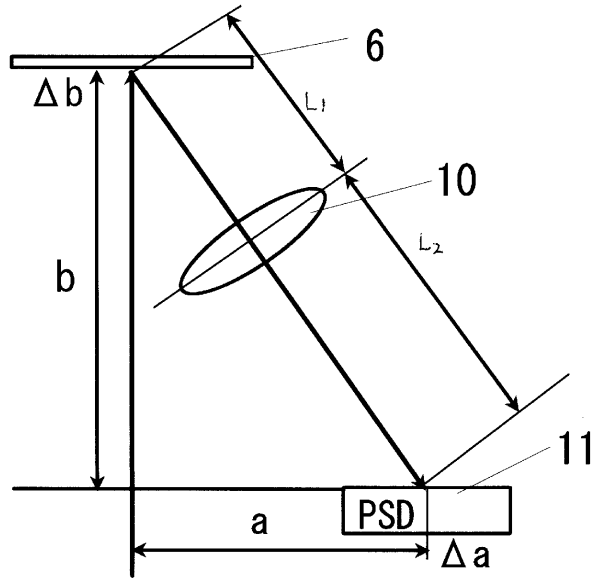
【 図 1 】



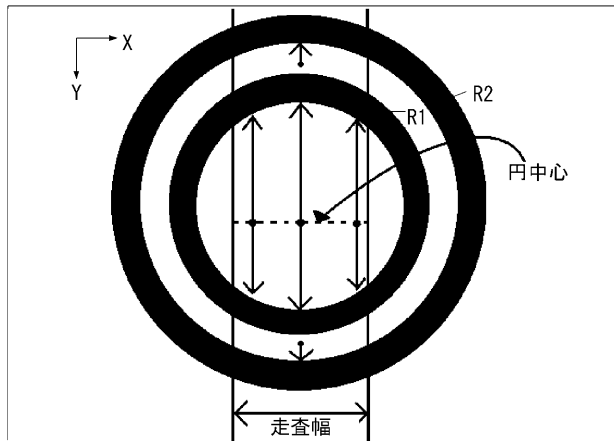
【 図 3 】



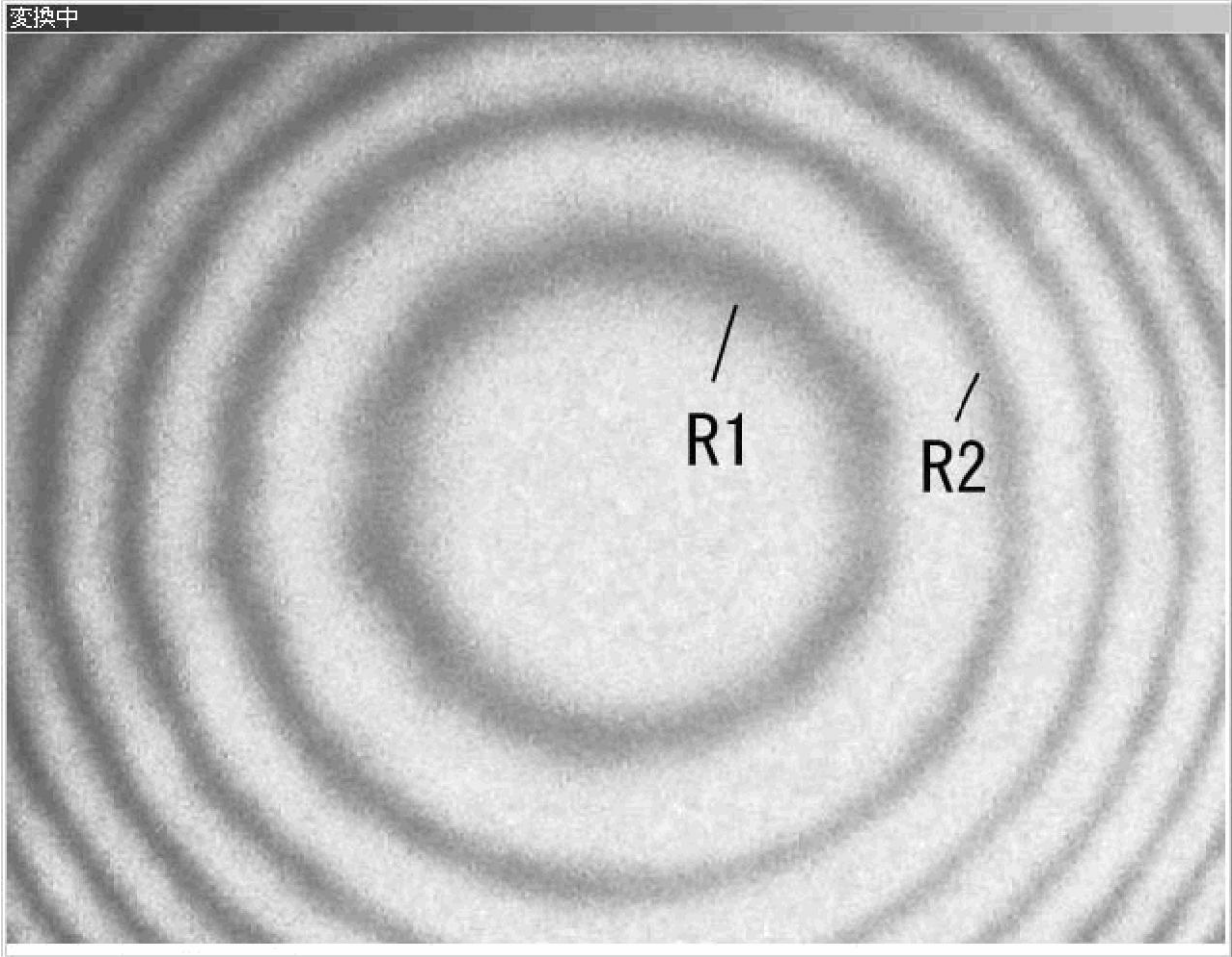
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 2 】





【 図 6 】

