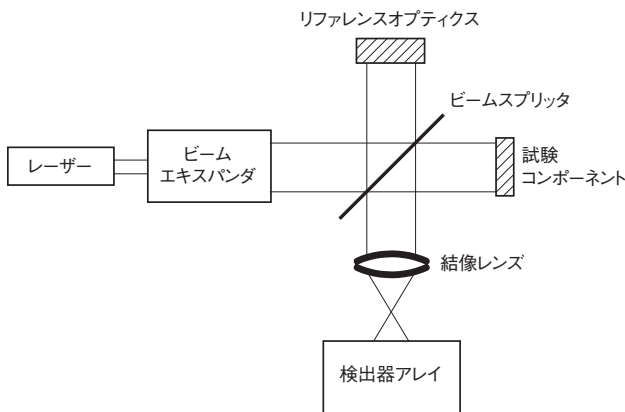


アプリケーションノート

光学表面品質を評価するための位相シフト干渉分光法

Phase-Shifting Interferometry for Determining Optical Surface Quality



Twyman-Green干渉計の代表的な構成

TLB-7000

重要なコンポーネントの表品質（目的の形状からの逸脱であり、平面、球面を問わない）を決定することは、精密製造には欠かせません。代表的なものは、Twyman-Green干渉計（下図）などの干渉計を使用し、試験対象のオプティクスとリファレンスオプティクスを比較する方法です。干渉計の2つのアームの間の光路差が、光検出器（通常はCCDアレイ）に干渉縞を発生させます。干渉縞の中心にある点が等しい場合、光路差が等しいことを意味します。隣接部位の中心に点がある場合、半波長分の光路差の違いを表します。インターフェログラムにて、リファレンスオプティクスと試験オプティクスを少し傾けることで、均等な間隔の直線の干渉縞があると、試験コンポーネントに収差があることがわかります。下の図をご覧ください。

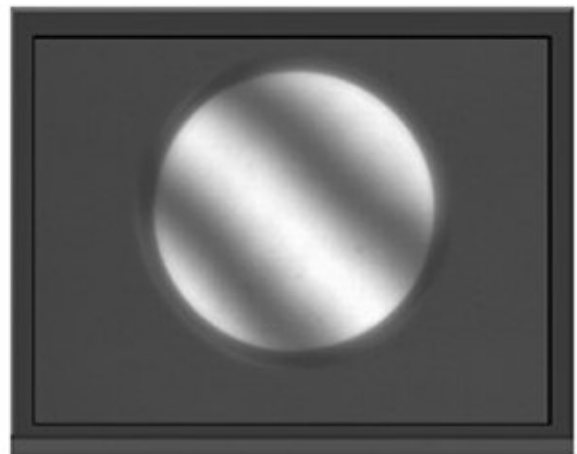
インターフェログラムの分析は非常に有力な技術ですが、短所もあります。干渉縞の中心位置を見つけることは、最終的にこの技術の精度を左右するものですが、難しい作業です。また、インターフェログラム全体の強度変動、または光検出器の感度変動がスプリアスエラーを引き起こします。この他にも、データが干渉縞の中心からのみ取得され、多くの分析ルーチンが必要とする一定の間隔のグリッドからは取得されないという長所と短所があります。最後に、干渉縞の数が少なく、広い間隔で配置された方が、たくさんの干渉縞が狭い間隔に配置された場合よりも測定精度が増すため、分解能とデータポイントの数のどちらかを犠牲にする必要があります。

位相シフト干渉分光法はこれらの制限を打開します。第1に、位相シフト干渉分光法は干渉縞の中心を探すことに依存しません。第2に、一定の間隔で配置されたグリッド上に光路差を直接算出する、光検出器アレイの各成分で測定を行えます。

位相シフト干渉分光法を支える概念は、リファレンス波面と試験波面の間にある、時間によって変動する位相シフトを適用することです。これは、たとえば圧電結晶などのリニア振動子上にリファレンスオプティクスを取り付けることで達成できます。相対的な位相シフト (a) が時間に対して線形であれば、検出器アレイのすべてのポイントの強度 (I) は時間とともに正弦的に変化します。 $I(x, y, t) = B(x, y) + A(x, y) \cos(f(x, y) + a(t))$

ここで、バイアスレベル B および変調振幅 A は未知であり、試験オプティクスとリファレンスオプティクスの光位相差 (f) は測定を行う数量です。 f は $f = 4\pi h / \lambda$ (λ はレーザー波長) により試験オプティクスの高さ誤差 (h) に関連しています。3つの未知数があるため、 f を判断するためには既知の位相差で少なくとも3つのインターフェログラムを測定する必要があります。たとえば、 $a = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ のデータを取得すると、単純な式から各ポイントでの位相差を計算できます。 $f(x, y) = \tan^{-1} [(I_4(x, y) - I_2(x, y)) / (I_1(x, y) - I_3(x, y))]$ ここで $I_1 \dots I_4$ は位相シフト $a = 0 \dots 3\pi/2$ に対応する時間における、すべての光検出器の成分で測定された強度です。各ポイントで計算を行うので、強度と光検出器の感度の変動は問題になりません。

多くの位相シフト干渉計が HeNe レーザーを光源として使用しますが、TLB-7000 などの外部共振器型チューナブルダイオードレーザーを使用すると、大幅な利点が得られます。第1に、オプティクスの動作波長にちょうど一致する波長を選ぶことができます。これはオプティクスがコーティングされ、633 nm で反射しない場合に特に有益です。第2に、時間によって変動する位相シフトは2つのアームを不平衡にし、レーザー波長を変えることで達成できますので、リファレンスオプティクスを変換するためのリニアアクチュエータが不要になります。チューナブルレーザーを使用する際は、位相シフトは $a = 2\pi \text{OPD} / \lambda$ の式で求められます。ここで、OPD は干渉計の2つのアームの間の光路差であり、 λ はレーザーの中心波長であり、 D は時間によって変動する波長変化を表します。従って、TLB-7000 などのチューナブルダイオードレーザーを使用することで位相シフトの測定が可能になり、さらに測定時間の短縮に繋がります。



インターフェログラムの干渉縞の明暗