

干渉縞の高精度解析装置の開発

Development of High-precision Analyzing Apparatus of Interferogram

吉田 尚*
Yoshida, Takashi

Recent optical devices used in opto-electronic field requires wave-front aberrations of less than 1/10 or 1/100 wave length.

We have developed a Fringe Scanning Unit that can be used under poor environment conditions such as on production lines.

In this unit, phase-measurement interferometry and image processing techniques are used for high precision fringe measurement.

1 はじめに

最近の光エレクトロニクス分野で用いられる光学素子には、仕様として数1/10波長から1/100波長以下の面精度や波面収差を要求するものが多くなってきた。これらの光学素子を評価する高精度干渉測定法として提案されている縞走査干渉法を用い、測定環境の良くない生産現場でも使用可能な評価装置FSU (Fringe Scanning Unit)を開発したので報告する。

2 縞走査干渉法の原理¹⁾

縞走査干渉法の原理をFig.1の干渉計部に示すトワイマングリーン干渉計を用いて説明する。平行な入射光束は半

透明鏡で2分され、一方は被験面で反射し物体光として再び光路を戻す。他方は高精度の参照面で反射され参照光となる。物体光と参照光は先の半透明鏡で重ね合わされて干渉し、参照光と物体光の光路差が干渉縞の形で観察される。

一方の反射面を光軸方向に移動すると観察される干渉縞の明暗が周期的に変化することから、参照光の位相を段階的に変化させて、干渉縞の強度分布を測定し、測定値からフーリエ級数の計算によって、物体光の位相を求めることが出来る。干渉縞の強度分布を $I_i(x,y)$ とし数式で表現すると次式となる。

$$I_i(x,y) = I_0(x,y) [1 + \gamma(x,y) \cos \{\phi(x,y) + \alpha_i\}]$$

ここで、 $I_0(x,y)$ 、 $\gamma(x,y)$ 、 α_i は、それぞれ干渉縞の平均強度、コントラスト、参照光の位相変化量である。物体光の位相分布 $\phi(x,y)$ は、参照面をピエゾ素子(PZT)によって光軸方向へ段階的に移動させて、 α_i を周期 2π の $1/N$ づつ変化させ、強度分布 $I_i(x,y)$ を測定し、次式を計算することで求められる。

$$\phi(x,y) = \tan^{-1} \frac{\sum I_i(x,y) \sin(\alpha_i)}{\sum I_i(x,y) \cos(\alpha_i)} \quad (\text{mod } 2\pi)$$

この計算式には、干渉縞の平均強度、コントラストの項を含まないため干渉測定でしばしば問題となる照明ムラやコントラストの場所的変化の影響を受けない特徴がある。又、 $N = 4(\alpha_i = \pi/2 * (i-1), i=1 \sim 4)$ の場合(4バケット法と呼ばれる)、上式は

$$\phi(x,y) = \tan^{-1} \frac{I_4(x,y) - I_2(x,y)}{I_1(x,y) - I_3(x,y)} \quad (\text{mod } 2\pi)$$

となり、高速計算が可能となる。 2π の不確実性については、位相の空間分布を求めるとき、連続性を考慮して除去する。

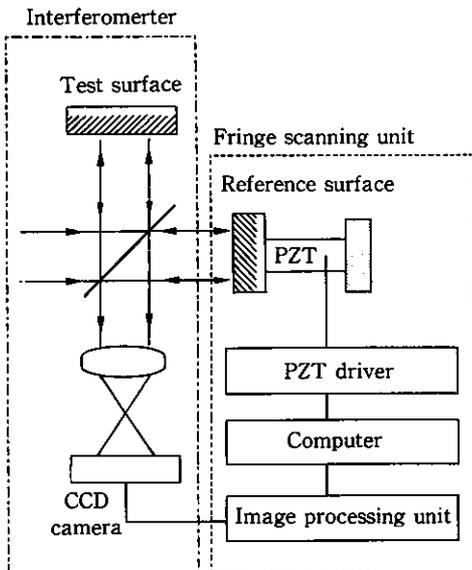


Fig.1 Scheme of the Twyman-Green interferometer with the phase measurement technique

* オプト事業部 光学開発センター

3 測定装置と評価機能

測定は、干渉計にFig.1に示すFSUを附加し、パソコンにより測定・制御を行う。使用されているパソコンはPC 9801、画像処理装置の空間分解能は256x240画素(分解能8bit)、ピエゾ素子は最大変位量15 μ mとごく一般的なものを使用し、ソフトウェアはC言語で書かれている。

測定時の解析領域の設定、対話型/自動測定モードの設定、測定波長の設定、3/4/5の測定バケット数等の測定パラメータはパソコンディスプレイのウィンドウ・メニュー上でマウスを操作し設定する。

評価結果は、すべてグラフィック表示され、機能とし

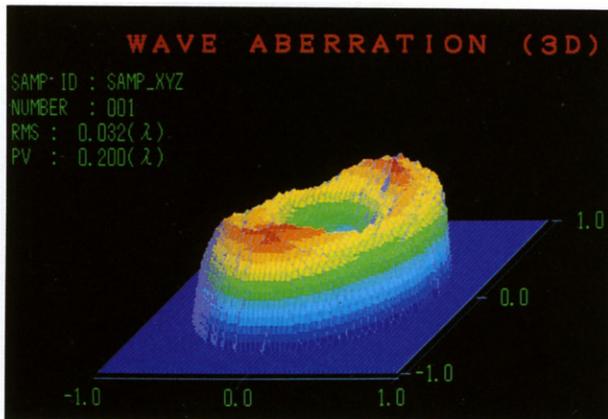


Fig.2 3-D plot of the wave aberration

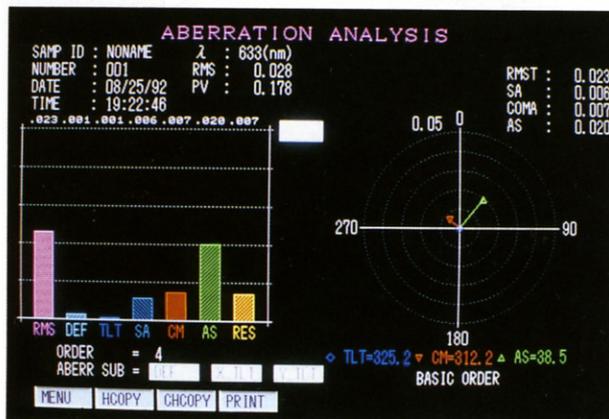


Fig.3 Display of Zernike analysis

て測定された波面収差の二次元/三次元表示、ツェルニケ解析結果(数表出力も可)、PTF、OTF等が用意されている。ツェルニケ解析された評価値は、ディスクに保存され統計計算が可能である。グラフィック表示例をFig.2、Fig.3に示す。

測定時間は、4バケット法の場合、透過波面収差の二次元表示を経てツェルニケ解析結果表示まで20秒以下である。また、透過波面収差測定時に干渉計への入射光束の偏光方向を回転する事で面アス/複屈折アス分離自動測定も可能である。

4 測定精度の向上

測定誤差要因として、ピエゾ素子の制御誤差、干渉縞のコントラスト、外乱の影響(振動、空気の擾乱による干渉縞の乱れ)等がある。開発した装置には、これらの要因を出来るだけ小さくし、測定精度を向上させるために種々の配慮が為されている。

測定法の原理から明らかなように、ピエゾ素子の制御誤差は直接測定精度に影響する。ピエゾ素子への印加電圧とその移動量は、ヒステリシスのため比例関係にない。校正には、当事業部で独自に開発された0.6nmの分解能をもつレーザ干渉測長器(ALIS-1)²⁾を使用している。測定・制御ソフトウェアには、位相変調された干渉縞強度分布オンラインモニター、オートゲイン・コントロールによるコントラスト向上、積算画像入力によるノイズ低減、入力画像に対するフィルター処理、複数回測定による平均化の各種機能を備えている。これらの精度向上手段により測定再現性は1/100波長以下である。

5 むすび

オプト事業部では、CDレンズ、高精度光学部品の評価用として生産部門を含めた評価用干渉計にFSUを取り付け、品質向上を図っている。又、現在、より高精度(画像処理装置の空間分解能512x480画素、5バケット法)で高速処理可能バージョンを開発中である。

●参考文献

- 1) J.H.Bruning et al. : Appl. Opt. 13, 2693(1974)
- 2) 細江 他 : Konica Tech. Rep. 4, 93(1991)