

振動環境で利用できる走査型光干渉応用形状計測技術

金沢大学, (株) ジーシー* 安達正明, 平野勇輝*, 河村昌範, 岩尾雄太

Vertical-scanning shape-measurement interferometry applicable to vibrating environment

Kanazawa university, GC corp*, Masaaki Adachi, Yuuki Hirano*, Masanori Kawamura, and Yuuta Iwao

Vertical-scanning shape-measurement interferometry using white light is widely used to measure 3D shape of objects having step-like shape. This interferometry however cannot be used in vibrating environment. Because it is required to accurately make step movements of the predetermined length during vertical scanning. We developed a new technology which can accurately measure the changes of optical path difference (OPD) of an interference microscope. This utilizes a FPGA device and can measure OPD changes with 18- μ s interval. We built this technology onto a vertical-scanning interferometer and estimated results of 3-D measurements under few vibration conditions.

1. 研究の目的

白色干渉を利用した走査型 3 次元形状測定装置は段差等を持つ微細構造物の 3 次元形状を nm 精度で高速に測定できる。しかし、この装置は参照面内蔵の干渉対物レンズもしくは測定対象物を垂直方向に高い位置精度で走査する必要があり、振動環境下では実際の位置と想定位置のズレが混入するため、その使用が難しいとされる。

垂直走査速度の高速化を目指して我々が開発した「2 個の高輝度 LED と垂直走査型干渉計を用いる高速 nm 精度形状計測¹⁾」でも正確な位置シフト (位相シフト) 量の制御が必要であり、振動環境下となる製造現場に持ち出すことは難しかった。一方で、大型加工品の微小突起を本体から切り出すことなく高精度に測定したいなどの要求もある。ゴミの付着等を避けるために間隔を一定に制御しやすいスペーサーを挿入する事は避けたく、この場合も振動下での形状測定技術が要求されている。

そこで我々は走査型光干渉応用形状測定装置の振動環境下への適用技術²⁾を研究してきた。そして、被測定面の一部が平面から構成されるとする条件下で、振動があっても測定結果に振動が影響しないようにして、段差を測定できる技術を今回開発した。この内容に関して報告する。

2. 3次元形状測定装置と振動発生器搭載Z軸走査ステージ

実験に用いた 3 次元形状測定装置の光学系を図 1(a) に示す。装置は中心波長が 501nm と 585nm の 2 個の高輝度 LED を形状計測用の光源に持ち、Z 軸方向の定速走査と同時に図 1(b) に示すタイミングでパルス発光させて色違いの干渉画像 (c) と (d) を交互に取込む。両者の位相から 585nm の干渉縞の縞次数を抽出し、その位相と合わせて形状を計算する。振動を含む環境下での干渉計の光路差変化を高速高精度に測定するための短波長レーザ光は同じ光軸を通してあり、その干渉光の時間変化を高速なラインカメラで取込んでいる。今回は数種の振動状況を生じさせるために、(a) にある Z 軸走査ステージを (e) の振動振幅や周波数の制御も可能なステージで置き換えた。Z 軸定速度走査用は精密アクチュエーター 850G-LS(6-78 μ m/s, エンコーダ分解能 7.98nm) が、そして振動発生器として、PI 社の対物レンズナノポジショナー (P-721.20) を逆さに載せ、その上に標準段差 85nm の試料を置いている。ナノポジショナーへの位置入力はアナログ入力モードとし、信号発生器 WF1946A からの正弦波信号をその入

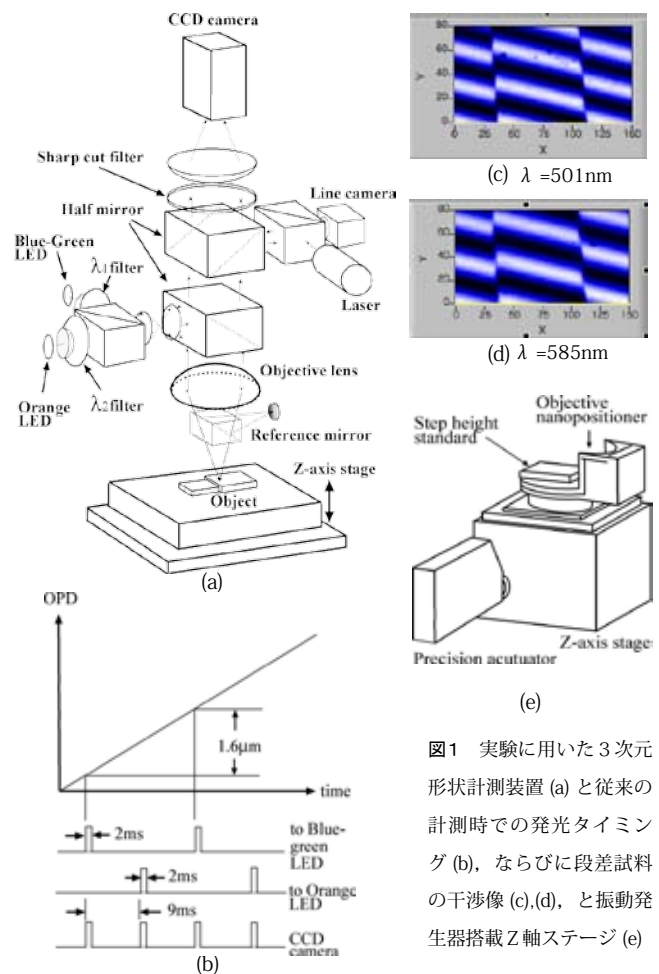


図1 実験に用いた 3 次元形状計測装置 (a) と従来の計測時での発光タイミング (b)、ならびに段差試料の干渉像 (c)(d)、と振動発生器搭載 Z 軸ステージ (e)

力端子に接続した。

3. 振動環境下での形状測定結果

光路差の高速高精度計算には Altera 社の FPGA ボード (PROCStarII 60-1) を用いる。ボードはラインカメラからのレーザ干渉画像を 10 μ s で取り込む。取り込んだ 12bit512 画素から特定の 10 画素を抜き出して 58kHz で入力する画像毎に位相の変化量を計算し、変化量が所定量を越えた時点で図 1(b) に相当するパルス信号を出す²⁾。ステージの 850G-LS は Z 軸を 10 μ m/s で動かすとすれば 0.17nm の変位毎にラインカメラ画像が取り込まれ、光路差が計算される。パルス信号をトリガーとして取り込んだ干渉画像から形状を計算する。

振動発生部で強制的に発生させた振動は、振幅が 25nm では周波数 5Hz と 10Hz, 振幅 50nm では 5Hz, 10Hz, 20Hz, 振幅

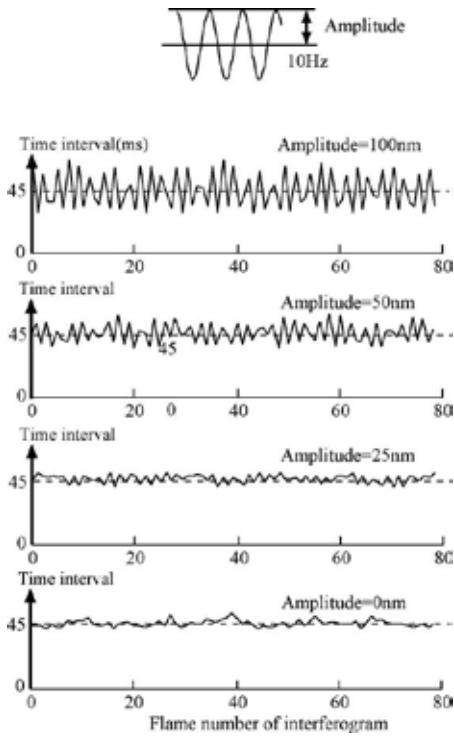


図2 10Hzの振動下の形状測定で、所定の光路差変化量になる毎に取り込まれた画像の、画像番号と取込時間の間隔。Amplitude=0nmは強制的な振動を発生させていないもの

100nmでは10Hzの6種類である。振動を発生させているので画像取込の取込時間の間隔は一定値から大きくずれる。故意的な振動を発生させない状態での振幅を0nmとして、10Hzの振動のみの場合の、取込時間間隔の画像番号による変化を図2に示す。振幅が0nmは振動を加えていない場合だが、時間間隔は数ms変動している。振動振幅が大きくなるにつれて、取込時間間隔の変動幅はほぼ比例して大きくなるのが分かる。用いている2D-CCD画像の取込ボードは最速で100枚/秒なので、これ以上の振幅は試さなかった。変動幅が最大の振幅100nm、周波数10Hzの振動下での3次元形状測定結果を図3に示す。また、故意的な振動を発生させず、Z軸を10μm/sで動かしながら45ms間隔ちょうどで交互に画像を取り込んだ(FPGAを用いない)時の形状測定も行った。4回試み、その中の1回だけなんとか形状が測定できた。文献1)ではナノポジショナーをZ軸走査に用い、リアルタイムボードで図1(b)の発光と取込タイミングを実現したが、今回はZ軸走査に図1(e)の精密アクチュエーター850G-LSを用いたのでうまく測定できる割合が激減したと考える。得られた結果を図4に示す。最大コントラストとなる干渉画像を取りこんだ時点での実際のZ軸位置が外部の振動により想定位置とずれているために実際にはない段差が現れており、また、画像間の位相シフト量も変動しているために位相から抽出した高さに干渉縞の周期の2倍の波状の誤差が表れている。この測定結果を含め、全ての振動条件で得られた形状測定結果から断面形状を計算した。結果を図5に示す。測定対象は85nm ± 1.1nmの標準段差であり、FPGAを用いた場合には振動があってもほぼ正しく測定ができていた。与えた振動がなくてもFPGAを用いない場合は、環境による振動やZ軸ステージの走査速度の変

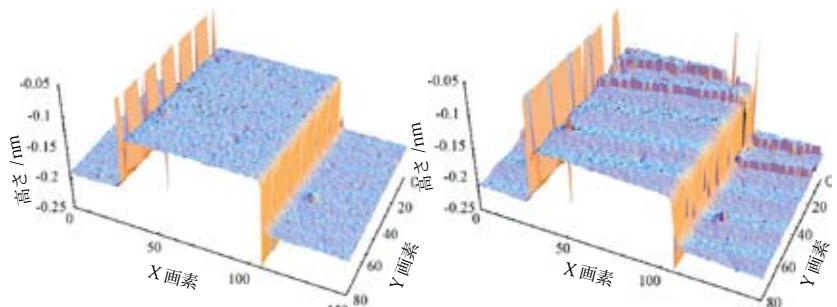


図3 振幅100nm,10Hzの振動下でFPGA処理を用いて測定した形状

図4 FPGA処理を用いない、故意的な振動のない状況下で測定した形状

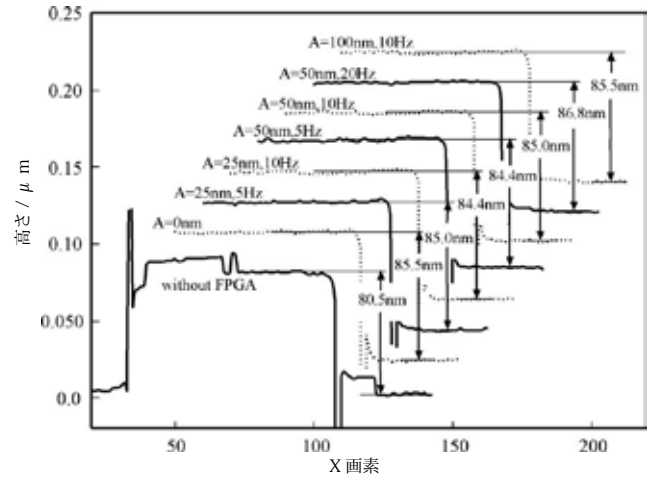


図5 各種の振動下で測定した標準段差試料の断面形状

動のために4回の測定中1回しか形状計測ができず、その測定でも誤差が大きく、正しく測定はできていない。

4. 考察と結論

以上の方法の許容振動範囲をさらに広げるための方法を考えてみる。本方式で許容できる振動の範囲は、所定の光路差変化になった時に正しく画像を取り込めるかどうかによる。故により高速な画像取込ボードが使用できれば許容できる振動の範囲は広がる。発光LEDの輝度は高い方がよい。パルス信号の後に一定時間発光する必要があり、輝度が低いと長い発光時間を必要としその間の予測できない光路差変動は誤差を与える。ラインカメラとFPGAボードはさらに高速なものが入手できるので特に問題はないであろう。

ここでは平面を持つ試料を用いて振動環境下でも走査型形状計測装置を使えるようにするための方法を述べた。使った光路差変化を調べる方法は、現段階では粗面には応用できない。そこで、現在、粗面も測定できる方法を探索中である。

なお、本研究は科学研究費補助金(基盤研究(c)-18560247)を用いて行ったものである。

参考文献

- 1) 安達ほか、2個の高輝度LEDと垂直走査型干渉計を用いる高速nm精度形状計測、精密工学会誌71,(2005)1404p
- 2) 平野ほか、顕微鏡内蔵型レーザ変位計の開発、2007年度精密工学会秋季大会講演論文集、457p