

## 二波長光干渉式三次元形状計測装置

立山マシン株式会社 五十島一興, 齊藤潤二, 嶋一史, 中山彰,  
 金沢大学 安達正明,  
 シグマ光機株式会社 山宮広之, 小林友博,  
 富山県工業技術センター 杉森博, 釣谷浩之

Three Dimension Surface Measurement System using Interferometry with Two wavelength of Light

TATEYAMA MACHINE Co.,LTD. Kazuoki ISOJIMA, Junji SAITOH, Kazufumi SHIMA, Akira NAKAYAMA,  
 KANAZAWA University Masaaki ADACHI,  
 SIGMA KOKI Co.,LTD. Hiroyuki SANGU, Tomohiro KOBAYASHI,  
 TOYAMA Industrial Technology Center Hiroshi SUGIMORI, Hiroyuki TURITANI

We develop a 3-D surface measurement system using interferometry with two-wavelength. This system uses phase shift value of  $3/2$  (we call this high-speed phase shift method). This consists of two light sources using LED, a Mirau microscope objective, a CCD camera, and a Z-axis fine stage. The fine stage has high resolution and long stroke. We experimentally confirm that this system can correctly measure 3-D shape of a step sample having 85nm gap.

### 1. 研究の目的

近年、ナノテクノロジーの発展に伴い、半導体等の材料分野からバイオロジー分野など広い分野で、超微細な物体が扱われるようになってきており、超微細加工のニーズが高まっている。これに伴い、研究開発の領域だけでなく、製造・品質管理の領域でも高精度な形状測定技術が求められている。しかし、従来の高精度形状測定法では、特殊な装置、技能、環境等が必要とされ、従来の技術をそのまま製造現場へ持ち込み実施することは困難である。そこで、製造現場でも使用できる、安価で操作が簡単な、高精度形状測定装置の研究開発を我々は始めた。

研究では、光干渉応用形状測定法の1つである位相シフト法に、波長の異なる2つの光源を組み合わせ、高速・高精度で非接触に三次元形状を検査できる装置の開発を目指した。

### 2. 計測原理

#### 1) 光干渉法

本装置で用いる光干渉法では、試料と反射鏡がつくる干渉縞から光路差情報を抽出し試料の高さを計測する。図1に干渉機構を示す。試料を光軸方向(垂直方向)に動かし、光路差を変えながら、干渉画像を複数枚 CCD カメラで撮像する。反射鏡は固定されており、試料表面にピントがあつた位置で干渉縞のコントラストが最大となるよう調整されている。試料は、決められた量の移動毎に撮像されるため、ピントのあつた干渉画像になるとは限らない。そこで、得られた干渉画像の中からコントラスト最大となる(ピントのあつた)画像を求め、その画像を撮像した位置で位相を求め、試料の高さを計算する。また、画像から二次元位置情報を得られるので、高さ情報と組み合わせると、試料の三次元形状を計測する。

#### 2) 高速位相シフト法<sup>1)</sup>

干渉画像からコントラストと位相を計算として、高速位相シフト法を用いる。従来の位相シフト法は、図2のようにサンプリング間隔を  $\pi/2$  ( $= \pi/4$ ) とするため、可視光域で

は、1回の撮像に対して光路差変更量(以降、位相シフト量と呼ぶ)が  $100\text{nm} \sim 180\text{nm}$  程度である。

これに対し、高速位相シフト法は、図3のようにサンプリング間隔を  $2n \pm \pi/2$  ( $n$ は整数) とするため、位相シフト量は、従来の方法と比べ  $4n \pm 1$  倍になる。(図3は、サンプリング間隔  $3\pi/2$ )

この時、1波長での連続する画像5枚(図3の1~5の点で撮像する画像)からコントラストと位相を計算する。そして各画素でコントラストが最大となる画像番号を求め、この画像番号と位相から光路差を求める。この時、位相シフト量を  $\pi/2$  より大きく採っているため、干渉縞の次数(光路差がゼロの画像から光路差が大きくなる方向に何番目の干渉縞であるかを指す数)の特定が必要となる。このため、もう一方の波長で取り込まれる干渉画像の位相情報と合わせて次数を決定し、正確な光路差を計算して高さを求める。

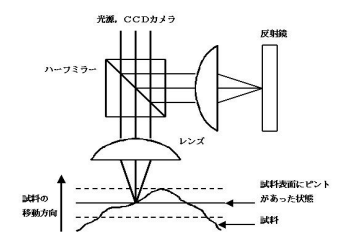


図1 干渉機構

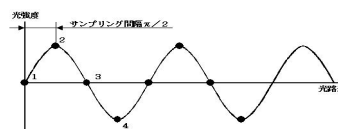


図2 従来の位相シフト法

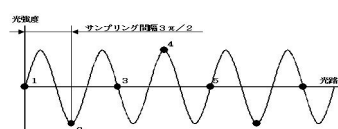


図3 高速位相シフト法

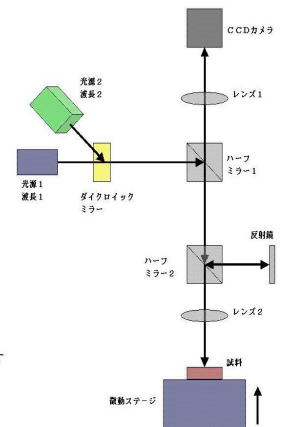


図4 光学系機構

3. 装置構成

1) 光学系

図4に本装置の光学系機構図を示す。異なる2波長の光を、ダイクロイックミラーで1つの光軸に合わせる。ハーフミラー1, ハーフミラー2を通過した光はレンズ2で集光され試料面で反射する。一方、反射鏡で反射した光は、試料面で反射した光とハーフミラー2で重ね合わされて干渉する。干渉縞はハーフミラー1を透過し、レンズ1で集光されCCDカメラの受光面上で結像する。試料は、微動ステージで垂直方向に移動する。この時、高さが数百nmごとに2種の光源を交互に点灯させ、CCDカメラで各波長別の干渉縞を撮像する。

2) 装置

写真1に装置の外観を示す。装置は、高剛性の架台に光学系を組み込んだ構造になっている。装置機構は、光源部、顕微部、撮像部、姿勢位置決め部から構成されている。また、制御機構は、パソコン、制御装置、各種コントローラで構成されている。以降、これらの機構について詳しく説明する。

a) 光源部

写真2に光源部を示す。光源には、ピーク波長470nm, 530nmの2個のLED照明を用いた。この2波長の等価波長(位相がそろった間隔)は、 $4.152\mu\text{m}$ である。コントラスト, 位相計算で用いる測定点5点は、この等価波長内で測定される必要がある。光源にはYZ軸ステージ及びあおり機構がついており、光軸調整が可能である。2つの照明光はダイクロイックミラーを介して、1つの光軸に沿って進む光となり、顕微部へ入射する。

b) 顕微部・撮像部

写真3に顕微部・撮像部を示す。顕微部には、市販の顕微鏡ユニットを用いており、三眼鏡筒の上部にCCDカメラを取り付けている。対物レンズには、二光束干渉対物レンズ(ミロー対物レンズ)を用いた。倍率は、20倍で、試料の周りを囲っている防振機構上部に取り付けてある。撮像部には、640画素×480画素のモノクロCCDカメラを用いた。撮像枚数は、1秒間に最大120枚である。

c) 姿勢位置決め部

写真4に姿勢位置決め部を示す。この部分は、試料の位置決めのためのXYZ軸方向の移動を持つ粗動ステージと、試料を微動走査するためのZ軸微動ステージと、微動ステージの上にあおり機構を組み合わせたものである。微動ステージは、理論分解能2nm, ストローク $620\mu\text{m}$ である。高速位相シフト法では、試料の移動量を正確に制御する必要があるため、ナノオーダーの位置決め精度が必要である。そのため、垂直走査したときの微動ステージの位置を、測長器を用いて読みとることにより、精密位置決めを行っている。測長器は、分解能0.14nm, 測定範囲10mmである。試料は、姿勢位置決め装置に固定され垂直走査される。

d) 制御機構

図5に制御機構のブロック図を示す。パソコンでは、計測処理やパラメータ設定などを行なう。制御装置では、微動ステージの位置制御, 光源切り替え, 測長器からの測長データ収集, CCDカメラの撮像などの処理を行なう。CCDカメラ, LED照明, 微動ステージ, 測長器には、それぞれ個別のコントローラがある。

4. 測定例

図6に三次元形状計測結果を示す。試料は、 $25\text{mm} \times 25\text{mm} \times 3\text{mm}$ の水晶体上にクロム薄膜をコーティングしたものに、85nmの段差を加工したものである。計測範囲は、平面 $350\mu\text{m} \times 250\mu\text{m}$ である。

5. 結論

高精度・長ストロークの三次元形状計測装置を製作し、高速位相シフト法による形状測定を確認した。今後、インプロセス環境への適用を考慮した改良を加える予定である。これらの研究結果は、インプロセスの精密計測実用化への手がかりになると考える。

本研究開発は、平成14年度地域新生コンソーシアム研究開発事業の助成を受け実施した。

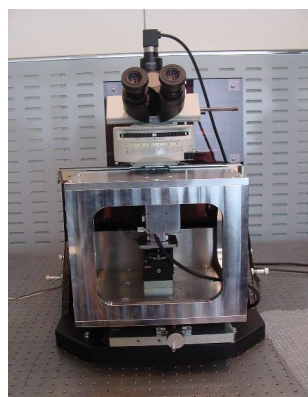


写真1 装置外観

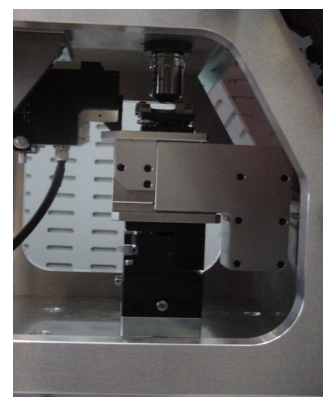


写真4 姿勢位置決め部外観

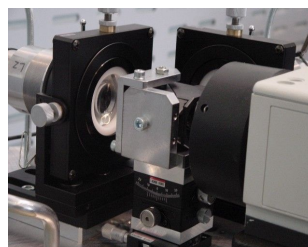


写真2 光源部外観

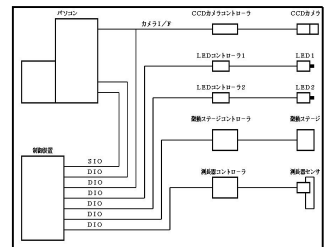


図5 制御機構ブロック図



写真3 顕微部・撮像部外観

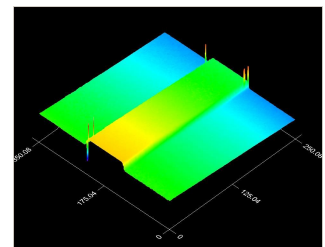


図6 三次元形状計測結果

参考文献

1) M. Adachi, K. Inabe: 'Vertical-scanning profilometry using double-exposure camera and two short-coherent-light sources of different wavelengths', Proceedings of SPIE, Optomechatronic Systems, Vol. 4902, P600-607.