

より正確な表面プロファイルを捕える 3チップカラー CCD

ジョン・ウォレス

3つの独立したチップを備えたカラー CCDカメラは走査型白色干渉計をベースにして平均二乗偏差(RMS)測定誤差を低減する。

大面積にわたる正確な表面プロファイルを迅速に獲得するには、光走査型干渉測定法に勝る方法はない。被検物の表面の反射率が十分に高く、形状が干渉測定ビームの波面からさほど逸脱しない限り、全フィールドの情報をただちに取得することができる。しかし、被検物の表面がステップなどの不連続な構造を含む場合は、単一波長を利用しただけでは位相不確実性が残る。こうした表面はこれまで以上に重要性が増しつつある。集積フォトニクスとマイクロエレクトロメカニカルシステム(MEMS)デバイスのいずれの開発に

おいても、さまざまな加工物体の高さやマイクロプロファイルの精密測定が役立つであろう。

白色光または多波長干渉測定表面プロフィロメータは各測定位置で複数のデータポイントをキャプチャすることで、この位相曖昧さを解決し、ステップを横切る相対的な位相の決定を可能にする。白色光走査型干渉計(WLSI)の各種形式は基本的にカラーセンサ(通常CCDカメラ)を利用する。しかし、1チップカラー CCDカメラでは限界がある。1例を挙げれば、各画素はそれぞれ1つのチャンネル上の強度だけし

か測定しないため、残る値は電子空間カラー補間を通して生成しなければならない。

シンガポール大学と中国南京理工大学の研究チームは、実際の色情報を正確に記録する3チップカラー CCDを使ったWLSIのシミュレーションを行い、それを組み立て、テストした⁽¹⁾。(3チップカラー CCDでは、入射した白色ビームを3色ビームスプリッタープリズムで青色、緑色、赤色チャンネルに分割し、それぞれを個々のCCDアレイで測定する。)

機器のレイアウトはマイケルソン型WLSIに特有である(図1)。タングステンランプを光源として使用し、その出力を光ファイバ(図に示されていない)

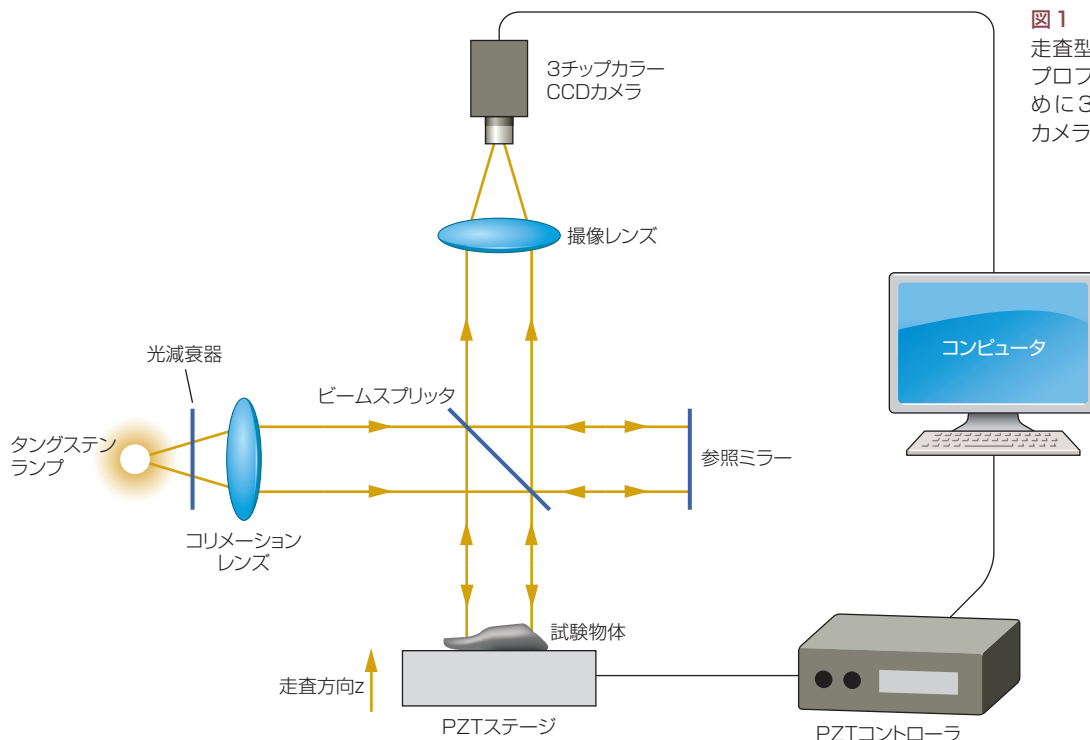


図1 マイケルソン白色光走査型干渉計は正確な表面プロファイルを測定するために3チップカラー CCDカメラを巧みに利用する。

に集光して、コリメーションレンズの焦点位置へと導波する。減衰器によってスペクトルのエネルギー分布を変更し、3色の強度を平均化することによって青色チャンネルのSN比を高める。テスト表面はコンピュータ制御式の圧電PZT（ジルコニウム酸チタン酸鉛結晶駆動）ステージ上に搭載された。このセットアップは1nmの走査解像度と0.02%よりよい反復率を持つ。3チップカメラはデンマークのJAI社で製造された商用デバイスであり、1色あたり1035×780ピクセルをもち、線形と不飽和領域で動作する。

シミュレーション

研究チームはいくつかの近似を使ってセットアップのシミュレーションを実施した。高さが0.013と0.028 μm の2個のフラットトップ矩形物体を含む2次元の128×128ピクセルエリアとガウス型スペクトルを持つシミュレーション光源を使用した。各チャンネルの中心波長は600、520、450nmとした。0.05 μm の走査間隔と10 μm の走査範囲を選択した。研究チームは、全強度の0%から25%の範囲で可変なランダム強度雑音を加えた。

2タイプの干渉図形解析アルゴリズムを試験した。1つは、2つのチャンネル（緑と青）からの情報だけを使って高速フーリエ変換（FFT）する位相交差法であり、これはいくつかの既存の白色光干渉計で使用されている。研究チームはもう1つの3チャンネルからの情報をすべて利用する窓フーリエ変換（WFT）法を選択した。WFTでモデル化されたRMSプロファイルのランダム強度雑音関数としての誤差はFFTでのそれに比べてかなり低かった。例えば、25%の雑音レベルでのRMS誤差はWFTとFFTのそれぞれにおいて0.27nmと1.86

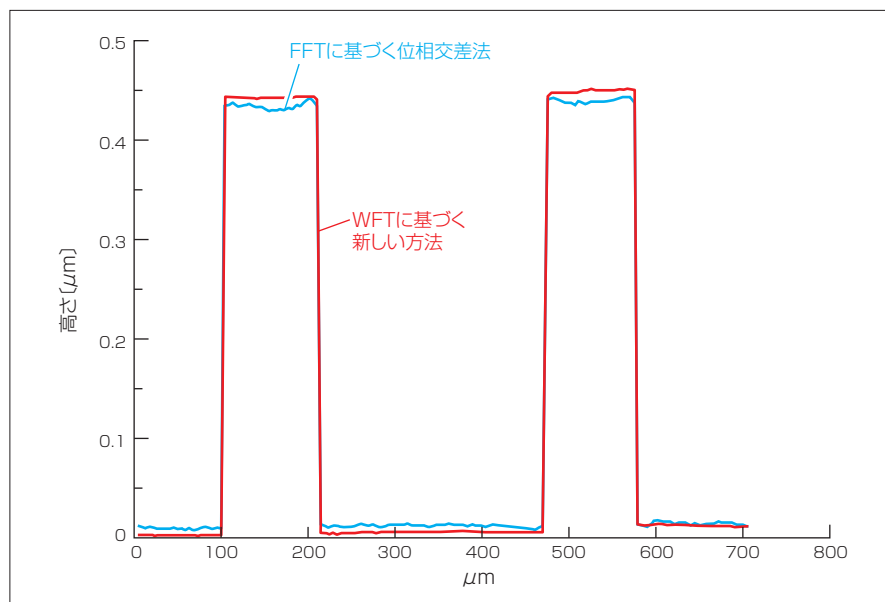


図2 窓フーリエ変換(WFT)に基づく3チップ、3チャンネルカラー技術は高速フーリエ変換(FFT)に基づく2チャンネル技術に比してより正確なMEMS特徴の表面プロファイルを実現した。後者は白色光プロファイル測定における既存のアプローチの典型である。

nmであった。追加の解析は、3チップカメラに関係する色結合効果はいずれも十分に小さく(0.08 nm)、無視できることを明らかにした。

実験

研究チームは、横方向データを多量に蓄積することよりも、走査軸に沿った測定精度を評価することに関心があったため、彼らは画素のわずか20%を使って画像を再サンプリングすることとし、ピクセル数を1035×780から207×156に減らした。結果として、米マサチューセッツ(MathWorks)社製MATLABソフトウェアを使った一組のプロファイルデータの計算時間は、Core2Duo、3.16GHzコンピュータの場合、約5分に短縮された。

研究者チームは、RMS高さが0.51のフラットミラーと、ピーク-バレー(PV)とRMS値がそれぞれ70と15.1nmの凸面ウエハの試験から開始した。FFTで

のPVとRMSの誤差における偏差はそれぞれ4.3%と2.6%であり、WFTではPVとRMS誤差においてそれぞれ11%と16.5%であった。これらの誤差は主に光源の振動によるものであった。

本試験はMEMSウエハの測定で実施された。ここでは、MEMSウエハメーカーによって公称高さがすべて450nmに指定され、約百から数百ミクロンの範囲のさまざまな横方向サイズを持ついくつかの断面形状特徴が測定された。約700×950 μm サイズの面積上の高さデータが取得され、そこからプロファイルが抽出された(図2)。

FFTで解析されたそれらの特徴の平均高さは441.8nmであり、偏差は8.2nm、相対誤差は1.8%であったが、WFTによって得られた平均高さは446.5nmで、偏差は3.5nm、相対誤差は0.8%であった。実際のフラットトップをより正確に捕えるWFT法では、狭い物体のプロファイルも得ることができた。

参考文献

(1) S. Ma et al., Appl. Opt., 50, 15, 2246 (May 20, 2011).