

光MEMSスキャナのダイナミック平面度計測

＝振動中の光MEMSスキャナのミラー平面度計測＝

エーエルティー(株) 高野 裕

1. はじめに

超小型の光MEMSスキャナにより従来のピコプロジェクターやヘッドアップディスプレイの他に網膜走査ディスプレイや空間立体ディスプレイなど応用が広がっている。

MEMSはMicro Electro Mechanical Systemsの略でこのスキャナは超小型、省電力で機械スキャナとしては長寿命という特性を持っている(図1 OPUS社の光MEMSスキャナ)。

現在の解像度も720Pと呼ばれる横1280ピクセル、縦720ピクセルのハイビジョン画質となっているが今

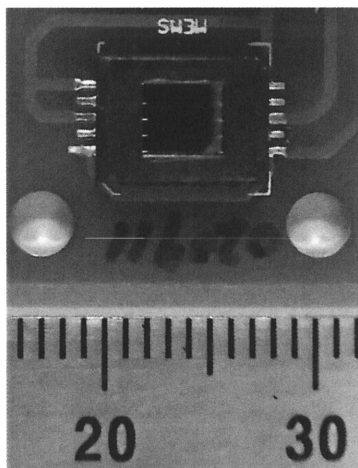


図1

後4 K、8 Kへもスキャンミラーによるフォーカスフリー機能と画像があるところだけレーザーが点灯する省エネルギーとフルレーザーによる色再現性で発展していくものと考えられる。

スキャンミラーの方式はデジタルミラーデバイスと呼ばれるDLPや液晶シャッターのLCOSと比較して上記のメリットがあるが、MEMSスキャナの性能により画像品質が低下する場合がある。

低下の要因としては水平スキャンでは走査ジッタと呼ばれる走査時間の変動がある。

通常は水平方向が主走査となり共振で動作させることが多く、周波数は20 KHzを超えるが副共振があったり副走査側の走査の影響を受けて走査速度が変動したりして水平方向のポイントビリティが悪くなる。垂直スキャンではウォブルと呼ばれる垂直方向の変動や垂直方向の走査リニアリティの変動がある。

通常垂直方向は副走査となり非共振動作しフレームレートの数10 Hzで動作させる。ウォブルは主走査動作時の副走査側の変動でミラー駆動力がアンバランスやミラーを支えている梁のコンプライアンスが不均一などにより発生する。

また副走査は非共振で動作させるがこちらも共振周波数を持っており、通常ディスプレイ用のφ1 mmくらいのMEMSスキャナでは1 KHz付近の一次共振点の他にいくつかの高次共振点を持つことが多い。

ここにノコギリ波のような駆動周波数を直接与えてしまうと、元の基本周波数は低いものの高次の周波数も含まれるので共振点付近の周波数が発生したタイミングで走査の不均一が発生する。

このような要因で主走査方向、副走査方向のポイントビリティが悪化するが、この他に画像の周辺であ

る主走査、副走査の走査開始、終了付近での解像度の低下が見られることがある。

この要因の1つとしてミラーの平面度の低下がある。

MEMSデバイスはシリコンで形成された数mmのミラーを電磁力、静電力、ピエゾの歪みなどで加振し一次元または二次元でスキャンする構造となっているが共振周波数を上げようとするミラーが薄くなり平面度の維持が難しくなってくる。

近年では有限要素法のシミュレータで詳細なシミュレーションができるようになったがプロセスの精度や諸条件の変化によりなかなか設計通りの性能が得られておらず、動作時のダイナミックな平面度測定が求められている。

ダイナミックな平面度計測は平面度を測定する方法と、走査されるビームのダイナミックなビーム径を測定する方法がある。

実際のスポットでは副走査方向は光学的なビーム径であるが主走査方向については光学的なビーム径の他にレーザーのスイッチング特性が関与してきてメリット・デメリットが生じる⁽¹⁾⁽²⁾。

2. ダイナミック平面度計測の原理

ダイナミックな平面度計測としてレーザー干渉計とパルスレーザーによる干渉計測を用いて動作中のMEMSスキャナのミラーの平面度計測を行った。

レーザー干渉はニュートンリングのように光路差をナノメートルオーダーの分解能で検出することができミラー表面の微妙な変形を計測することが可能である。

図2が実験測定系で半導体レーザーは波長660 nm、出力30 mWでnsオーダーでの点灯制御が可能である。レーザーから発せられたビームはスペシャルフィルタ、コリメータレンズを介してビームスプリッタから光

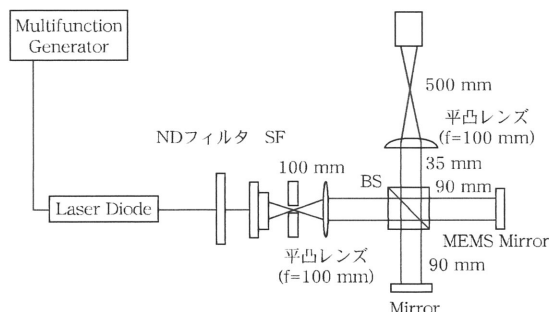


図2

MEMSスキャナのミラーへと照射される。

ビームスプリッタでは基準ミラーへもビームが分岐され反射してCCDカメラへ入射される。

この時CCD画像素子上では基準ミラーの参照光と光MEMSスキャナの物体光は傾いて伝播していくので干渉縞を生じる。

この干渉画像からフーリエ変換で位相差を求めることができ表面形状を計測することができる。

パルスレーザーの発光タイミングは光MEMSスキャナのドライブ信号から検出し、タイミングのディレイと発光パルス幅の制御を行った。

3. 測定結果

光MEMSスキャナは22 KHzで共振動作させ、カメラの視野は光MEMSスキャナのミラー角で±9度となった。レーザーの点灯パルスは25 nsと50 nsで評価した。カメラの視野はVGA解像度でほぼミラーサイズであるが位相検出のため約0.7 mm角を切り出し、位相アンラッピングを行った後、平面でフィッティングして残差を平面からのずれとして評価した。

パルス幅25 nsの結果を図3にパルス幅50 nsの結果を図4に、市販のアルミ平面ミラーを図5に静止時の光MEMSスキャナのミラーを図6に示す。

平面とのずれはRMSでパルス幅25 nsでは22 nm、パルス幅50nsでは62 nm、アルミ平面ミラーでは28 nm、静止時の光MEMSスキャナのミラーでは23 nmであった。

RMS値については平面に近い値では $\lambda/20$ 以下の値が得られており、測定分解能としては十分な値と考えられる。

パルスレーザーの発光パルス幅は短いほど解像度が上がるが発光パワーとカメラ感度により露光時間が長

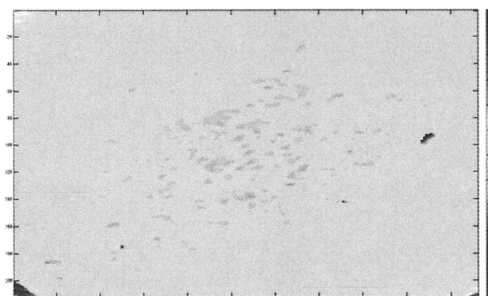


図3

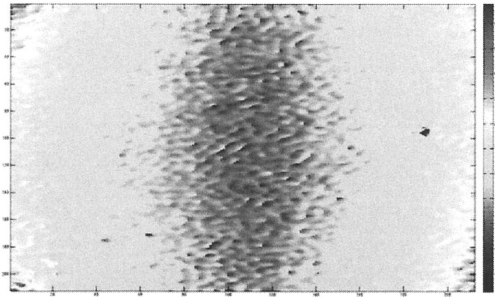


図 4

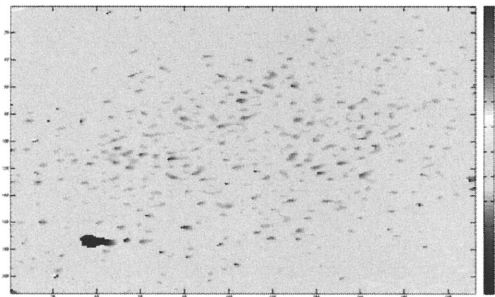


図 5

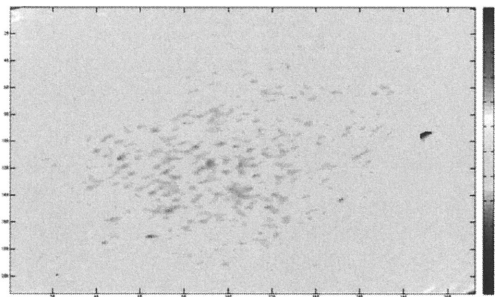


図 6

くなり、光MEMSスキャナ短時間の変動が見られなくなる。

今後レーザー、カメラなどのデバイスの改善およびフーリエ変換、画像選択からアンラッピング処理などソフトの改善を進める。

4. おわりに

本開発は電気通信大学との共同研究で行い、実験に携わっていただいた大学院情報理工学研究科 中澤誠人さん、実験計画および理論背景をご指導いただいた宮本洋子准教授に感謝を申し上げます。

＜参考文献＞

- (1) 高野裕：ダイナミックビーム計測へのアプローチ、光アライアンス 26(1)、pp.45-48 (2015年1月)
- (2) 高野裕：走査ビームのプロファイル計測と光MEMSスキャナへの応用、光アライアンス27(1)、pp.34-37 (2016年1月)
- (3) 中澤誠人・高野裕・住廣正和・宮本洋子：運動物体と同期したハルスレーザーによる変形計測、日本光学会年次学術講演会 (2016)

【筆者紹介】

高野 裕

エーエルティー株式会社 代表取締役