

## Stroboscopic in-plane and out-of-plane characterization of MEMS and MOEMS

デジタルホログラフィック顕微鏡 (DHDM™) は、MEMS と MOEMS を評価する理想的なツールです。特に、以下の周期的なサンプルは、DHDM ストロボスコピックモードを使用して検査することができます：

- ↪ 焦点面と焦点面外 3D トポグラフィー
- ↪ 周期的なサンプルの動的な測定
- ↪ 全周期間の動作解析
- ↪ 周波数と振幅との応答特性評価

ここでは、可変キャパシタの回転角、垂直変動幅、および傾きの評価で説明します。

MEMS と MOEMS の開発、プロセス最適化、および品質管理では、それらの形状の特徴化だけでなく、干渉計の分解能で、それらの動的変動の解析を必要とします。静的測定は、幾何学的要因の効果に関する情報を提供する場合には、残留応力等を意味します。動作中の変形、時系列で変わる挙動の動的な測定は、サンプルの周波数と振幅との応答の研究を可能にします。

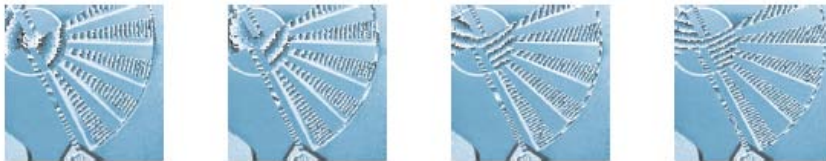
高速で動く対象物の動きを焦点面と焦点面外で測定する主な難しさは、ぼけるのを回避するために非常に短い時間で、完全な情報を同時に取得しなければならないということです。その結果、時間を費やす機械的走査を必要とする白色光走査干渉法 (WLSI) のような走査技術は、適切な技術ではありません。他のテクニックは、焦点面外の動きのポイント測定だけを提供します、そしてサンプルの機械的な移動または、ビームを走査することが、サンプルの他の部分での測定を得るために必要とします。位相シフト干渉法 (PSI) または、干渉画像の高速フーリエ変換 (FFT) 解析のような全ての視野の情報を提供する既存のテクニックは、たいてい、数枚の取得画像の結合を必要とします、したがって、速度に限界があり、外部の振動に非常に敏感です。

デジタルホログラム顕微鏡 (DHDM™ R1000) は、単一の取得画像で、ナノメートル精度の垂直解像度をもつ完全な三次元情報の取得を可能にします。その結果、DHDM™ システムは、標準のカメラを使用して、毎秒最大 15 画像のリアルタイムで、操作でき、そして速いカメラでは、より早く操作でき、再構築を後で処理できます。

この独特の特徴は、DHDM™ に高周波現象観察を可能にする MEMS と MOEMS のストロボスコピック測定のための強力なツールであることを可能にします。それは、上手く標準の PSI システムの問題を解決します。それらの機器に対して、DHDM は、3D 画像に数枚の干渉画像の取得を必要としません。その結果、それは、サンプルまたは、ミラーの少しの位置移動を必要としません。したがって、DHDM のストロボスコピックモードは、位相シフトから生じるサンプル自体または、顕微鏡ヘッドの振動によって周波数を制限されませんが、サンプルを評価できる周波数範囲を明確にします。

以下は、DHM™ ストロボスコピックモードのいくつかの重要な特徴です：

- 外部のハードウェアまたは、ソフトウェアによる画像取得の同期。
- サンプル駆動信号を DHM™ システムによって提供します。駆動信号は、ユーザ定義の波形の  $200V_{rms}$  (ピークツーピーク 400V) の振幅で最大 25 MHz です。
- 短い取得時間 (数マイクロ秒) は、その時間経過内のサンプルの動きを外部の影響に左右されない DHM™ システム。
- サンプルの完全な周期に沿った焦点面と焦点面外の測定。
- 外部の規則正しい同期の DHM™ システムにより、デジタル及びアナログ入力を受けることができます。



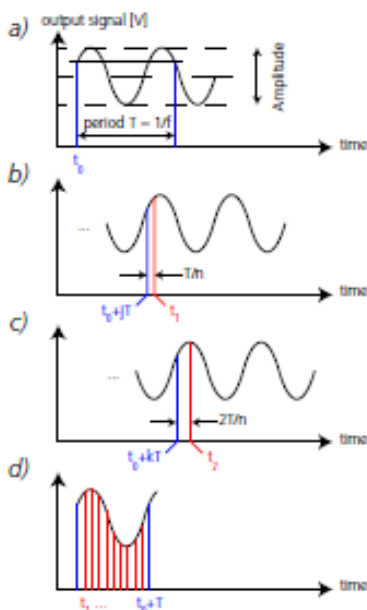
DHM™ R1000 で得られるシーケンス画像：

可変キャパシタ動作の半周期。静電容量を変える上側の電極は回転します。望まない垂直の変動幅と傾きと同様に回転角を測定できました。



LEG-EPFL 提供のパッケージされた回転する可変キャパシター。

## Stroboscopic measurements



ストロボスコピックモードは、内部の開発された独立したマイクロプロセッサで構成された電子モジュールで動作します。それは、カメラ外部トリガを可能にして、波形発生器を含みます。それは、画像と発生する出力信号の取得の完全な同期を確実にします。完全な周期にわたるサンプルのモニタリングは、サンプルの数サイクル間で、数枚のホログラム (最大 500 枚) の取得で達成されます、それぞれのホログラムは、周期 (図 1) の異なった位置で取られます。1 つの取得で撮られた単一のホログラムが、完全な 3D 情報を含んでいるということは、ストロボスコピック研究のために必要とされる解析を確実にします。

図 1: ストロボスコピックモードの原理。(a) 時間  $t_0$  時に最初のホログラムを取得します。新しいホログラムを  $t_0 + jT + T/N$  (b) 時と  $t_0 + kT + 2T/N$  (c) 時にと順に取得します。N 枚目のホログラムによって、抽出されて、最終的に完全な周期を再構築します。

## Measurements

特徴化した MEMS は、電熱的な作動アームを使い、断片化した電極をもつ可変コンデンサです。それは、2 つの断片化した電極で作られています: (i) 底部の固定した電極と (ii) 1.4 $\mu\text{m}$  のエアギャップの宙に浮いた上部の回転する電極。小さい主要なディスク構造の各部分で接続された 2 つのアームが、上部の電極を回転します、そして、静電容量を変えます。電流が、アームを通るときに、導入された力が、全体の構造を回転する瞬間を作るアームの正味の熱膨張を引き起こします。特に、マイクロデバイスの容量は、固定した電極と動作する電極との間の相対的な距離に関する関数です。それは、3 つの幾何学的なパラメータによって主に特徴付けられます: (1) 回転する角度、(2) 垂直な位置変位、および (3) 宙に浮いた回転電極の傾き。それらの 3 つのパラメータは、正弦波の励起周期に沿った 50 測定点を抽出するためにストロボスコピックモードで動作する DHM<sup>TM</sup> R1000 によって測定されます。ここに提示された測定は、50 Hz と 1 から 1.8V までの電圧の信号で実行されました。また、さらに研究は、1 Hz から 100 kHz の範囲で、サンプルの周波数特性を調査しました。

宙に浮く構造の高さ変化を調査するために、固定した高さ (図 2a の点 A) を持っている点から構造 (点 C) の極端な点までのプロファイルを構造 (点 B) の中心を經由して抽出しました。

図 2b は、1.785V の駆動振幅信号で、完全な正弦周期で 50 点測定した 6 個のプロファイルを示します。図 2c は、4 つの異なった正弦振幅で、固定した点 A と点 B との間の最小と最大高さの差異を示します。

構造の回転角を DHM の位相と強度の両方に特徴付けることができます。動きは、固定した電極と比較して、特徴付けます。構造の傾きは、指示された線分 (図 2a) の左右対称軸に垂直な位相プロファイルを抽出することで決定します。

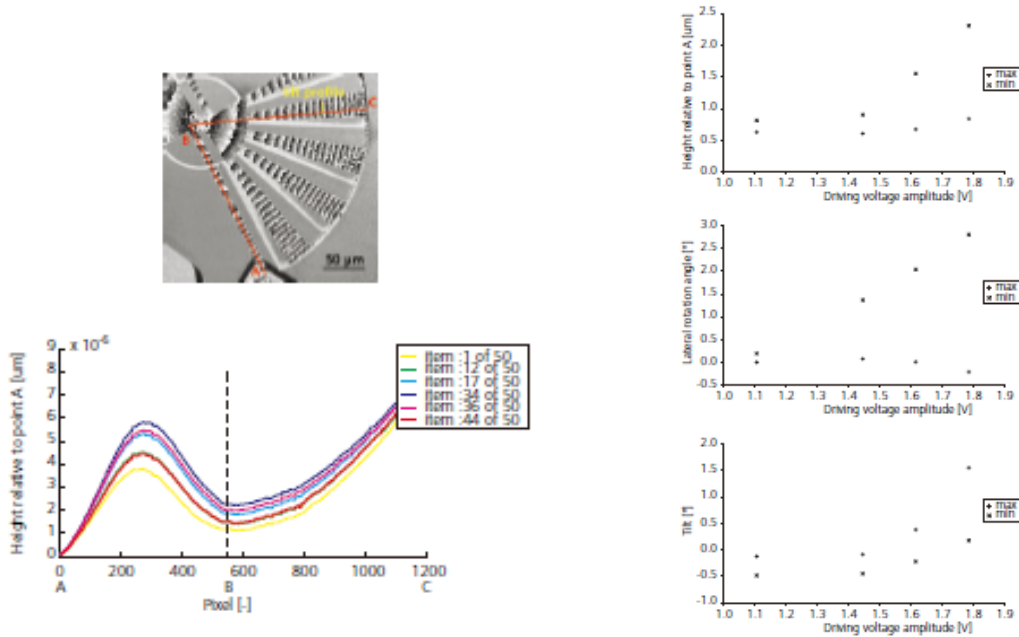


図 2: 動的測定: (a) 垂直な位置変位と傾きのプロファイルラインをもつ位相画像 (b) 1 周期中の 50 プロファイルから 6 個を抽出した。1 周期中の (c) 垂直な位置変位、(d) 回転、および (e) 傾きの最大と最小値。

図 2d と 2e は、4 つの駆動振幅のそれぞれの回転角と傾きの最大と最小の値を報告します。

3 つの調査した幾何学的なパラメータは、駆動電圧約 1.5V で、サンプルが、その平衡位置にもはや戻らないということを示します。その結果、容量は、励起に直線性を失います。完全な解析は、容量の機械的な動作と熱消失問題の良好な理解を可能にします。また、容量と経年変化の緩和時間は、面白い調査対象です。

## Conclusion

ストロボスコピック取得モードを使用する DHM™ R1000 は、非常に速く、そして、動的なマイクロシステムの効率的な研究を可能にします。テクニックは、MEMS コンデンサの焦点面と焦点面外の動作の 3D の特徴付けを可能にします。

## References

F.Montfort et al., "Process engineering and failure analysis of MEMS and MOEMS by Digital Holographic Microscopy (DHM)", SPIE Proceeding San Jose 2007

<http://lynceetec.com/downloads/>

---

 **Lyncée tec**™  
PSE-A  
1015 Lausanne  
Switzerland  
info@lynceetec.com  
www.lynceetec.com



株式会社 デジタルマイクロシステムズ  
〒603-8167  
京都市北区小山西大野町 82-2  
Tel: 075-417-3311 Fax: 075-432-3116  
e-mail: sales@digitalmicrosystems.co.jp  
<http://www.digitalmicrosystems.co.jp>