

Mesures simultanées de mouvements latéraux et verticaux pour la caractérisation de MEMS et MOEMS

Frédéric Montfort ^a, Yves Emery ^a, François Marquet ^a, Etienne Cuche ^a, Nicolas Aspert ^a,

Eduardo Solanas ^a, Alexandre Mehdaoui ^b, Adrian Ionescu ^b, Christian Depeursinge ^c

^a Lyncée Tec SA, PSE-A, CH-1015 Lausanne, Switzerland, ^b STI-LEG-CMI, EPFL, 1015 Lausanne, Switzerland,

^c STI-IOA, EPFL, 1015 Lausanne, Switzerland

Le développement, le processus d'optimisation et le contrôle de qualité de MEMS et MOEMS requièrent non seulement leur caractérisation statique (forme 3D, effet de facteurs géométriques, stress résiduels,...), mais aussi la dynamique avec une résolution interférométrique. En effet, les systèmes ont non seulement des mouvements latéraux, mais aussi verticaux. Leur caractérisation doit être faite simultanément et souvent à hautes fréquences afin de permettre l'étude des réponse en fréquence et en amplitude des systèmes, leur déformation durant le mouvement, fatigue, ...

La difficulté principale pour une mesure topologique 3D d'objets se mouvant rapidement est d'acquérir en un temps très court toute l'information afin d'éviter un flou de mouvement. Les techniques de mesure optiques sont fréquemment utilisées pour la caractérisation de mouvements de microsystèmes. La plupart des méthodes ne fournissent que des mesures ponctuelles de déplacements verticaux. Plusieurs faisceaux de mesures ou un déplacement latéral de l'échantillon ou du faisceau est nécessaire pour obtenir la mesure en différents points de l'échantillon, rendant le processus de mesure lent. De ce fait les techniques plein champ tels que les systèmes stroboscopiques utilisant l'interférométrie par décalage de phase (PSI) ou l'analyse d'interférogrammes par transformée de Fourier rapide (FFT), sont très désirable. Toutefois, leur rapidité d'acquisition est limitée et elles sont sensibles aux vibrations par le fait qu'elles combinent plusieurs interférogrammes pris successivement sur une période de temps relativement longue.

La Microscopie Holographique Digitale de part sa configuration hors axe permet de retrouver l'information tridimensionnelle en une seule acquisition (quelques microsecondes) et avec une résolution axiale au nanomètre. Cette particularité rend les systèmes DHM uniques pour la caractérisation latérale et verticale de MEMS et MOEMS. Le system DHM en configuration stroboscopique comprend:

- Module stroboscopique: générateur de signal (forme arbitraire, fréquences jusqu'à 100kHz, amplitude jusqu'à 200Vrms), synchronisation caméra – signal d'excitation – signaux d'entrée externe
- Software Koala: suivi temporel, profil, focalisation digitale, acquisition de séquences et restitution vidéo (avi)
- Microscope: compensation pour épaisseur de verre, utilisation d'objectifs de microscope standard (longue distances de travail, grande ouverture numérique,...)

Mesures stroboscopiques

Le mode stroboscopique est contrôlé par un module électronique équipé d'un microprocesseur dédié développé par Lyncée Tec. Il synchronise l'acquisition de la caméra, le signal d'excitation et les signaux d'entrée.

Le suivi de l'échantillon sur une période complète de son mouvement périodique est obtenu par l'acquisition de plusieurs hologrammes (jusqu'à 500) enregistrés sur plusieurs cycles à une position différée dans la période (Figure 1).

Mesures

Le MEMS caractérisé ici est une capacité variable à électrodes fragmentées et actuation par bras électrothermiques. Il est constitué de deux électrodes. (i) une inférieure fixe au substrat et (ii) une supérieure mobile distante de 1.4µm de la première. Deux bras connectés au petit disque de la structure supérieure sont utilisés pour faire pivoter l'électrode et ainsi changer sa capacité. La puissance électrique injectée dans les bras induit une dilatation de ceux-ci, créant un couple sur l'électrode. La capacité du microsystème est principalement caractérisée par 3 facteurs géométriques: (1) l'angle de rotation, (2) le déplacement vertical et (3) l'inclinaison possible de l'électrode suspendue.

Ces trois paramètres ont été mesurés par un DHM R1000 opérant en mode stroboscopique avec 50 mesures par cycle sur un signal d'excitation sinusoïdal à 50Hz et d'amplitude entre 1.0 et 1.8V. L'étude complète a aussi étudié le comportement en fréquence entre 1Hz et 100kHz.

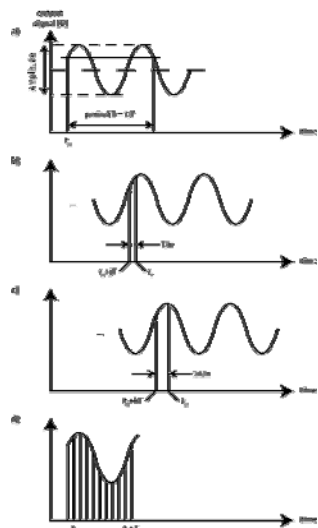


Fig.1

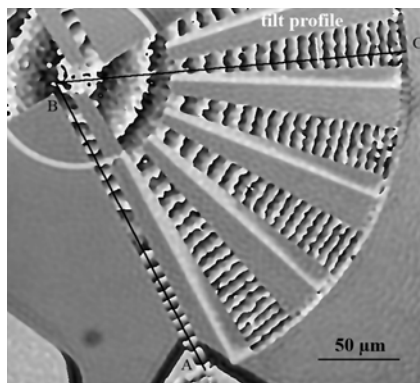


Fig 2a

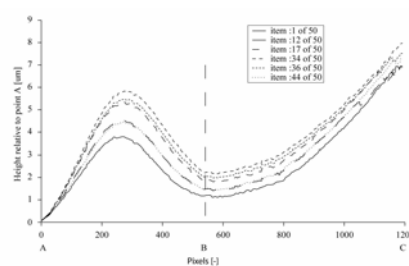


Fig 2b

Figure1: Principe du mode stroboscopique: (a) un premier hologramme est acquis à l'instant t_0 . De nouveaux hologrammes sont acquis aux temps $t_0 + jT + T/N$ (b) et $t_0 + kT + 2T/N$ (c), et ainsi de suite. Finalement une période complète est reconstruite échantillonné par N hologrammes.

Figure2: (a) Mesure de phase de la capacité variable. Profil extrait le long de la ligne ABC. L'inclinaison a été évaluée le long da ligne blanche.

(b) Six des cinquante profils extraits le long de ABC au cours d'une période.

Pour étudier les déplacements verticaux de la structure suspendue, un profil ayant une extrémité fixe (point A sur la Figure 2a) et l'autre sur l'extrémité de la structure (point C), passant par le centre de l'électrode (point B), a été extrait.

La figure 2b montre 6 profils sur les 50 mesurés durant une période, pour une amplitude de signal de 1.785V. La figure 3a répertorie les valeurs minimales et maximales des différences du point B avec le point fixe A pour 4 amplitudes de signal d'excitation différentes.

L'angle de rotation de la structure peut être mesuré au travers de l'image d'intensité ou de contraste de phase. Il est mesuré par rapport à l'électrode fixe. L'inclinaison de la structure a été déterminée en extrayant des profils perpendiculairement à l'axe de symétrie des rayons de l'électrode (Figure 2a).

Dans les figures 3b et 3c sont reportés les valeurs minimales et maximales des angles de rotation, respectivement de l'inclinaison des électrodes pour les 4 différentes amplitudes

Les trois paramètres géométriques étudiés montrent que pour une amplitude de signal supérieure à 1.5V, le MEMS retrouve sa position d'équilibre. La capacité a dès lors une réponse linéaire à l'excitation. L'analyse complète permet une bonne compréhension du comportement mécanique de la capacité variable et de ses dissipations de chaleur. Le temps de relaxation de l'électrode ainsi que la fatigue sont aussi des paramètres pouvant être étudiés.

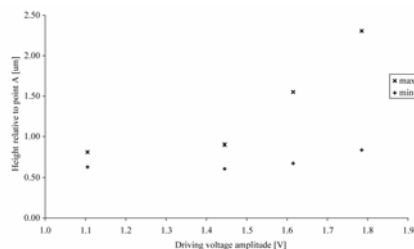


Fig. 3a

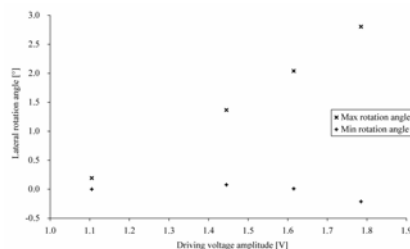


Fig. 3b

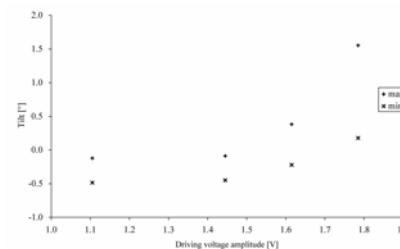


Fig. 3c

Figure 3: Valeurs minimales et maximales (a) des variations de hauteur de la structure, (b) de l'amplitude de rotation de la structure et (c) du tilt des rayons de la structure, pour 4 différentes amplitudes du signal d'excitations.

Le DHM en conjonction avec le module stroboscopique permet une étude dynamique rapide et efficace de MEMS et MOEMS. Il combine les mesures de mouvements latéraux et verticaux dans une même mesure à l'aide d'un seul instrument.