



Offre de thèse

Modélisation, fabrication et caractérisation expérimentale de réseaux MEMS faiblement couplés pour la détection de masse

Sujet: Modélisation, fabrication et caractérisation expérimentale de réseaux MEMS couplés pour la détection de masse

Laboratoire: Institut Femto-ST – Département Mécanique Appliquée

Etablissement d'accueil: Université de Franche-Comté – Unité de Formation et de Recherche Sciences and Techniques - 16 route de Gray 25000 Besançon

Durée: 3 ans à partir de septembre 2017

Domaine: Sciences pour l'ingénieur

Mots clés: réseaux MEMS, localisation de modes, détection de masse

Contact: Vincent Walter - 03 81 66 67 27 - vincent.walter@univ-fcomte.fr

Encadrants: Joseph Lardiès et Vincent Walter

Salaire: 1 365 euros net/mois (allocation ministère)

Contexte

La présence de petites irrégularités dans des structures quasi-périodiques peut inhiber la propagation d'une vibration et localiser les modes de vibration.

En présence d'un couplage interne faible, les déformées modales subissent des changements drastiques pour devenir fortement localisées lorsqu'un petit désordre est introduit, confinant ainsi l'énergie associée à un mode, dans une petite zone géométrique. Ce phénomène, connu sous le nom de localisation de modes, a suscité un intérêt dans la physique du solide d'abord [1], [2], avant d'être redécouvert plus tard dans le champ de la dynamique des structures [3], [4].

Ce principe offre des perspectives intéressantes en termes de sensibilité dans le domaine des biocapteurs à des fins d'analyses biologiques ou environnementales.



Ce projet s'inscrit dans une collaboration plus large qui s'initie actuellement entre le thème MEMS du Département Mécanique Appliquée et l'équipe BioMicroDevice du Département Micro Nano Sciences & Systèmes au niveau du Labex Action. Cette collaboration permettra notamment d'étendre l'étude à un mode d'actuation de type piézoélectrique et de développer la fonctionnalisation des dispositifs.

Travaux réalisés au Département Mécanique Appliquée

Depuis 5 ans le thème MEMS Acoustique et Energie développe des activités de recherche sur la modélisation, la fabrication et la caractérisation de transducteurs CMUTs.

Les dispositifs visés ont en commun avec les CMUTs leur nature capacitive et l'origine électrostatique du mode d'actionnement et de lecture.

Le thème possède également une activité de recherche en lien avec la détection de masse à l'échelle nanométrique :

- Modélisation de la dynamique non-linéaire d'un nanotube de carbone pour la détection de masse (prise en compte des non-linéarités géométriques et électrostatiques) sous résonance primaire [5] et paramétrique [6].
- Fonctionnalisation des non-linéarités pour l'amélioration des performances des capteurs NEMS : utilisation des résonances simultanées (primaire + super-harmonique) pour retarder les instabilités liées aux non-linéarités d'ordre 5 [7].

Description

L'objectif de la thèse est d'investiguer les potentialités du phénomène de localisation de modes dans le domaine d'application de la détection de masse. Cette étude comportera par conséquent une partie de conception et de dimensionnement d'un détecteur de masse à base de réseaux MEMS faiblement couplés. Une deuxième partie de l'étude s'attachera à la fabrication des dispositifs nécessaires à l'étude et à leur exploitation.

Le principe visé exploite la propriété des réseaux faiblement couplés connue sous le nom de localisation de modes. La localisation de modes apparaît dans les systèmes faiblement couplés dans lesquels est introduite une perturbation [8] [9]. Dans l'application visée, la perturbation serait une masse venue se déposer sur une surface préalablement fonctionnalisée du réseau.



L'intérêt de ce principe réside dans sa grande sensibilité, estimée à un ordre de grandeur supérieur à celui d'une détection basée sur le shift en fréquence. Ce principe a déjà été en partie investigué par Speltzer et al. [10], [11]. La difficulté soulevée par les auteurs est celle des imperfections liées à la fabrication, qui ne permettent pas d'obtenir un système faiblement couplé parfaitement symétrique dans son état initial non perturbé.

L'objectif ici est différent et entend profiter de l'interaction électrostatique normale pour trois actions :

- Générer la vibration dans le réseau
- Contrôler la zone de veering par un choix judicieux de la tension continue
- Réaliser une lecture des réponses temporelles des cantilevers du réseau par mesure capacitive

Le nombre d'éléments dans le réseau sera un élément intéressant à intégrer pour étudier la richesse de l'information qu'il sera possible de tirer du capteur.

Du point de vue de la modélisation, plusieurs pistes de travail sont envisagées :

- Etendre la modélisation à un réseau de n éléments la modélisation proposée par [10], [11].
- Développer une modélisation utilisant les équations de la mécanique des milieux continus

La modélisation utilisant les équations de la mécanique des milieux continus permettra une étude de l'influence des non linéarités dont il serait possible de profiter pour améliorer si besoin les performances du capteur : résonances simultanées [7] ou résonances paramétriques [6] initiée par l'interaction électrostatique et résonances internes [12] ou modes intrinsèques localisés dans le cas d'une non linéarité géométrique (grands déplacements).

La deuxième partie de l'étude consistera à fabriquer les dispositifs qui permettront la validation des modèles développés dans la première partie. Cette partie de l'étude s'appuiera sur les moyens technologiques de la centrale de fabrication MIMENTO. Elle comprendra la phase de conception des masques de layout, de définition du process flow, la fabrication en salle blanche et la caractérisation des dispositifs à l'aide des équipements disponibles au Département Mécanique Appliquée (vibromètre laser, caméra ultra-rapide, analyseur d'impédance).



Profil du candidat

Le candidat sera titulaire d'un Master dans le domaine de la Mécanique. Seuls les candidats ayant obtenu de très bonnes notes en Licence et Master seront retenus.

Rigoureux et motivé, le candidat devra avoir un profil indiquant de solides compétences en modélisation et simulation numérique en mécanique ainsi qu'un goût prononcé pour l'expérimentation.

Procédure de candidature

Les candidatures doivent être envoyées dans un seul fichier PDF contenant tous les documents demandés. Le fichier doit contenir :

Lettre de motivation

Curriculum vitae

2 lettres de recommandation

Relevé de notes et diplôme de Licence et Master

Les candidats peuvent postuler avant d'avoir obtenu leur diplôme de Master mais ne pourront pas débiter avant de l'avoir reçu.

La date limite de candidature est fixée au 30 août 2017.

Bibliographie

- [1] P. W. Anderson, "Absence of Diffusion in Certain Random Lattices," *Phys. Rev.*, vol. 109, no. 5, pp. 1492–1505, Mar. 1958.
- [2] E. W. Montroll and R. B. Potts, "Effect of Defects on Lattice Vibrations," *Phys. Rev.*, vol. 100, no. 2, pp. 525–543, Oct. 1955.
- [3] C. H. Hodges, "Confinement of vibration by structural irregularity," *J. Sound Vib.*, vol. 82, no. 3, pp. 411–424, Jun. 1982.
- [4] O. O. Bendiksen, "Mode localization phenomena in large space structures," *AIAA J.*, vol. 25, no. 9, pp. 1241–1248, Sep. 1987.
- [5] S. Souayah and N. Kacem, "Computational models for large amplitude nonlinear vibrations of electrostatically actuated carbon nanotube-based mass sensors," *Sens. Actuators Phys.*, vol. 208, pp. 10–20, Feb. 2014.



- [6] S Souayah, N Kacem, F Najjar, and E Foltête, “Nonlinear Dynamics of Parametrically Excited Carbon Nanotubes for Mass Sensing Applications,” 2015.
- [7] N. Kacem, S. Baguet, L. Duraffourg, G. Jourdan, R. Dufour, and S. Hentz, “Overcoming limitations of nanomechanical resonators with simultaneous resonances,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 107, no. 7, p. 073105, Aug. 2015.
- [8] A. W. Leissa, “On a curve veering aberration,” *Z. Für Angew. Math. Phys. ZAMP*, vol. 25, no. 1, pp. 99–111, Jan. 1974.
- [9] C. Pierre, “Mode localization and eigenvalue loci veering phenomena in disordered structures,” *J. Sound Vib.*, vol. 126, no. 3, pp. 485–502, Nov. 1988.
- [10] M. Spletzer, A. Raman, A. Q. Wu, X. Xu, and R. Reifenberger, “Ultrasensitive mass sensing using mode localization in coupled microcantilevers,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 88, no. 25, p. 254102, 2006.
- [11] M. Spletzer, A. Raman, H. Sumali, and J. P. Sullivan, “Highly sensitive mass detection and identification using vibration localization in coupled microcantilever arrays,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 92, no. 11, p. 114102, 2008.
- [12] S. Souayah and N. Kacem, “Bifurcation topology transfer in nonlinear nanocantilever arrays subject to parametric and internal resonances,” *MATEC Web Conf.*, vol. 16, p. 04004, 2014.