

Porteur(s) : B. Dulmet (FEMTO-ST)

Partenaire(s) : S. Ballandras (FRECONSYS)

Résumé du projet en Français :

Le projet MEMS-RF vise à l'augmentation de fréquence des sources de fréquences à composants acoustiques passifs et à la diversification des moyens de transduction électromécanique dans les composants passifs RF.

Les réalisations de résonateurs MEMS non piézoélectriques exploitent systématiquement des résonances structurelles, par opposition aux concepts de piégeage d'énergie par bande d'arrêt mis en œuvre dans les résonateurs piézoélectriques à ondes de volume ou de surface. Les résonateurs silicium utilisés dans les oscillateurs MEMS minimisent les pertes acoustiques dans la structure de maintien en recourant à un système de suspensions d'impédance acoustique adaptée, très sensibles aux tolérances de réalisation et n'annulant pas totalement les pertes par rayonnement acoustique à l'encastrement. En pratique, les produits coefficient de qualité – fréquence ($Q \times f$) atteignables sont en général inférieurs d'un ou deux ordres de grandeur aux limites visco-élastiques des matériaux mesurées par méthodes de pulse-écho, alors que l'expérience acquise dans le domaine des résonateurs BAW et SAW piézoélectriques montre au contraire que le piégeage d'énergie permet d'atteindre ces limites, tant dans la production industrielle des oscillateurs RF militaires et spatiaux que dans les produits destinés au grand public.

Une première thèse a été soutenue à FEMTO-ST sur ce sujet en 2012 (M. Ivan) et a démontré que les modes d'extension-compression d'épaisseur à énergie piégée à 10MHz sont effectivement excitables dans un wafer silicium via un gap électrostatique d'épaisseur micronique. L'extension de telles structures vers des fréquences substantiellement plus élevées (plage 400 MHz – 1 GHz) reste cependant problématique car impliquant la réalisation de gaps nanométriques sur des surfaces de quelques mm^2 . Les résonateurs en ondes de Lamb offrent un potentiel intéressant pour les MEMS-RF et méritent d'être étudiés pour surmonter ce verrou technologique, car ils sont réalisables avec des technologies proches de celle des F-BARs et leur vitesse de propagation peut être exceptionnellement élevée (supérieure à 12 000 m/s) pour une onde acoustique, ce qui facilite la réalisation du transducteur d'excitation. Néanmoins, pour étudier de nouvelles structures, il est nécessaire de disposer d'outils de simulations numériques performants. En raison de la non-linéarité intrinsèque à l'excitation électrostatique, aucun progiciel commercial ne permet de simuler de façon intégrée la réponse électrique d'un tel résonateur MEMS. Inversement, ce problème est aujourd'hui réglé dans le cas de la transduction piézoélectrique, grâce à des combinaisons de méthodes d'analyse par éléments de frontière et par éléments finis (FEM/BEM).

FEMTO-ST et la startup FreC'N'Sys veulent donc unir leurs efforts pour développer une méthode d'impédance permettant d'intégrer de façon transparente l'excitation électrostatique dans les logiciels de simulation FEM/BEM, et réaliser des démonstrateurs concrets compatibles avec la ligne pilote (opérée par FreC'N'Sys), bénéficiant de méthodes industrielles.

Abstract in English:

The MEMS-RF project aims the increase of frequency of passive acoustic sources and diversifies the means of electromechanical excitation/detection of passive RF components.

Non-piezoelectric RF MEMS resonators essentially exploit structural resonances, at the contrary of energy localization by stop-band, by means of suspension structures with optimised acoustic impedance. Such structures are very sensitive to micro-machining tolerances and do not fully cancel the losses due to acoustic radiation at the anchor points. The $Q \times f$ product attained in practice by such structures are generally inferior by at least 2 orders of magnitude to the visco-elastic limit of materials, as measured by pulse-echo methods, whereas the known results of BAW and SAW resonators indicate that energy-trapping methods permit to reach the visco-elastic limit. The $Q \times f$ product attained in practice by such structures are generally inferior by at least 2 orders of magnitude to the visco-elastic limit of materials, as measured by pulse-echo methods, whereas the known results of BAW and SAW

resonators indicate that energy-trapping methods permit to reach the visco-elastic limit. This can be observed on devices produced for the military and space market, and for the general public as well. A first doctorate thesis was presented at FEMTO-ST on this subject M. Ivan in 2002. It demonstrated that trapped-energy thickness-extensional modes can be capacitively driven in silicon resonators at 10 MHz through a sub- μm electrostatic gap. Nevertheless, extending the realization of such structures towards much higher frequency (in the range 400MHz-1GHz) is still problematic because it implies the machining of nanometric electrostatic gaps over a few square-millimeters. Lamb-modes MEMS resonators are promising to overcome this issue since they can be machined with a technology close to F-BAR whereas they offer an extra-high acoustic-wave velocity, beyond 12 000 m/s, which eases the micro-machining of the driving transducer. Nevertheless, there is still a lack of appropriate modelling tools to perform efficient numerical simulations of the electrical response of such MEMS resonators. Conversely, such tools exist nowadays in the field of piezoelectric devices thanks to combinations of boundary integral methods and finite elements methods. FEMTO-ST and Frec'n'sys are willing to join their effort to develop an impedance method allowing to integrate in a transparent way the electrostatic excitation into existing FEM/BIM numerical simulation software and to realize prototype resonators compatible with the pilot line operated by Frec'n'sys.

Résultats marquants :

Le financement post-doctoral alloué par First-TF a permis d'intégrer la transduction électrostatique dans la modélisation des ondes élastiques dans une plaque mince par la méthode de la fonction de Green. Deux configurations peuvent désormais être modélisées :

- Génération d'ondes d'extension/compression d'épaisseur dans une structure multi-couches incluant un nombre arbitraire de couches solides et de gaps électrostatiques. Ce résultat a été obtenu grâce à la détermination de la fonction de Green spécifique au problème électro-mécanique en incidence normale.
- Génération d'ondes guidées dans une plaque mince par un champ électrique spatialement périodique. Ce résultat a été obtenu grâce à la détermination de la fonction de Green spectrale du problème électro-mécanique.

Highlights:

Thanks to the post-doctoral financial support allotted by First-TF, we could integrate the electrostatic transduction scheme in the modelling of elastic waves in a thin plate through Green's function methods. As a result, two configuration can be modelled:

- Generation of thickness-extensional waves in a multilayered structures including an arbitrary number of solid layers and electrostatic gaps. This result was obtained thanks to the determination of the specific Green's function of the electro-mechanical problem under normal incidence.
- Generation of elastic waves guided in a thin plate, through a spatially periodic electrical field. This result was obtained by thanks to the determination of the spectral Green's function of the electro-mechanical problem.

Publications and communications linked with the funded project:

Proceedings:

L. Arapan, B. Dulmet, *Application of Lagrangian Configuration to the Analysis of Electrostatically-driven MEMS Resonators*, in Proc. 2014 European Frequency and Time Forum, June 2014.

Others:

ArXiv 1612.06641v [physics.ins-det] 20 Dec. 2016: Lilia Arapan, Mihaela Ivan, Bernard Dulmet, One-dimensional Modelling of Electrostatic Generation and Detection of Bulk Acoustic Waves in layered structures

Pictures with captions (curve, photo, scheme ...):

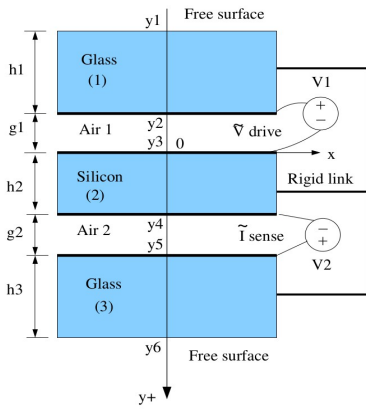


Fig.a) Typical structure

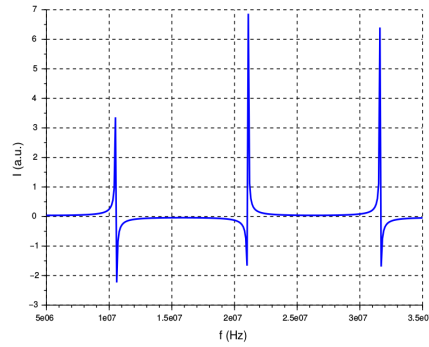


Fig. b) Current at the output port

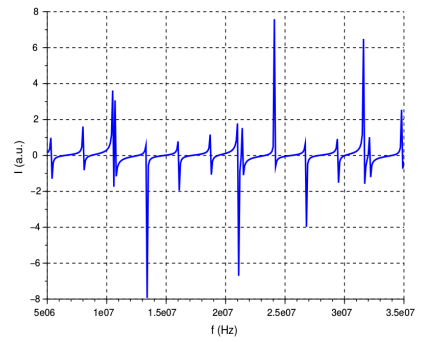


Fig. c) Current at the input port