

Article de recherche
SANTÉ

Un transducteur ultrasonique pour l'imagerie haute résolution



Alexandre Robichaud



Paul-Vahe Cicek



Dominic Deslandes



Frederic Nabki



RÉSUMÉ:

Au cours des dernières années, il y a eu un intérêt croissant pour les transducteurs ultrasoniques piézoélectriques micro-usinés (PMUT) comme solution de rechange aux transducteurs classiques pour l'imagerie par ultrason. En effet, ils présentent de nombreux avantages en ce qui a trait au coût, à la taille, mais aussi à l'efficacité. Cet article résume deux publications récentes dans ce domaine.

Les ultrasons : une technologie omniprésente

Les premières applications des ultrasons remontent à la Première Guerre mondiale, lorsqu'ils ont été utilisés pour la détection de sous-marins. Depuis, les transducteurs ultrasoniques sont utilisés en imagerie dans une vaste gamme de domaines. En médecine, ils ont vu leurs premières applications apparaître dans les années 1950 et sont aujourd'hui utilisés dans presque toutes les spécialités, comme en cardiologie, en ophtalmologie, en orthopédie, pour le dépistage du cancer et les tests prénataux pour ne citer que quelques exemples ([Burrascano *et coll.*, 2014](#)). Leur utilisation est aussi très répandue dans plusieurs domaines de l'industrie, comme l'industrie métallurgique, pour le contrôle de qualité et la détection de défauts à l'intérieur des matériaux ([Schmerr et Song, 2007](#)).

Les limites des transducteurs ultrasoniques

Toutefois, les transducteurs ultrasoniques classiques souffrent de plusieurs problèmes. Tout d'abord, leur impédance acoustique est très différente du milieu étudié, ce qui entraîne des pertes énormes lors de la transmission des ondes acoustiques. De plus, de façon générale dans les applications d'imagerie, afin d'obtenir une bonne résolution d'image, le transducteur doit être atténué pour obtenir une impulsion qui soit la plus courte possible dans le temps. Cela a pour conséquence que les transducteurs sont relativement peu efficaces énergétiquement. Finalement, les appareils permettant de faire l'imagerie par ultrasons sont encore très volumineux et coûteux. Il n'existe pas de dispositif miniature pouvant être directement intégré à un téléphone intelligent ou à d'autres appareils portatifs, comme c'est le cas pour d'autres technologies, notamment l'identification par radio-fréquence (RFID) ou la communication en champ proche (NFC).



Figure 1 Appareil d'imagerie à ultrasons

Un tel dispositif, s'il existait, rendrait beaucoup plus accessibles et beaucoup moins coûteuses les applications déjà existantes d'imagerie énumérées plus haut et permettrait l'émergence de nouvelles applications dans le domaine de la biométrie, de la détection de mouvement, du biomédical et bien d'autres. La recherche et le développement de transducteurs miniatures efficaces, permettant une haute résolution d'image en temps réel à bas prix, et étant portables et facilement intégrables, sont essentiels à l'évolution de l'imagerie médicale ([Pellikka et coll., 2013](#)). C'est ce qui permettra de démocratiser cette technologie et de rendre possible à de nouvelles applications de voir le jour.

Les transducteurs ultrasoniques micro-machinés (MUT)

Un nouveau type de transducteurs, le transducteur ultrasonique micro-machiné (MUT), s'annonce prometteur. Ces transducteurs sont constitués de membranes qui vibrent de haut en bas, s'apparentant en quelque sorte à un haut-parleur. Il existe deux types de MUT : les transducteurs ultrasoniques capacitifs micro-machinés (CMUT) et les transducteurs ultrasoniques piézoélectriques micro-machinés (PMUT). Les matrices de transducteurs piézoélectriques sont beaucoup plus faciles à fabriquer, peuvent aisément être produites à la chaîne, sont compatibles avec le procédé CMOS (semi-conducteur complémentaire à l'oxyde de métal) et peuvent être fabriquées directement sur le circuit intégré émetteur-transmetteur tout en présentant des performances semblables à celles des transducteurs classiques, voire meilleures ([Gurun et coll., 2008](#)). Le transducteur ultrasonique piézoélectrique micro-machiné (PMUT) fait donc l'objet de nos travaux de recherche.

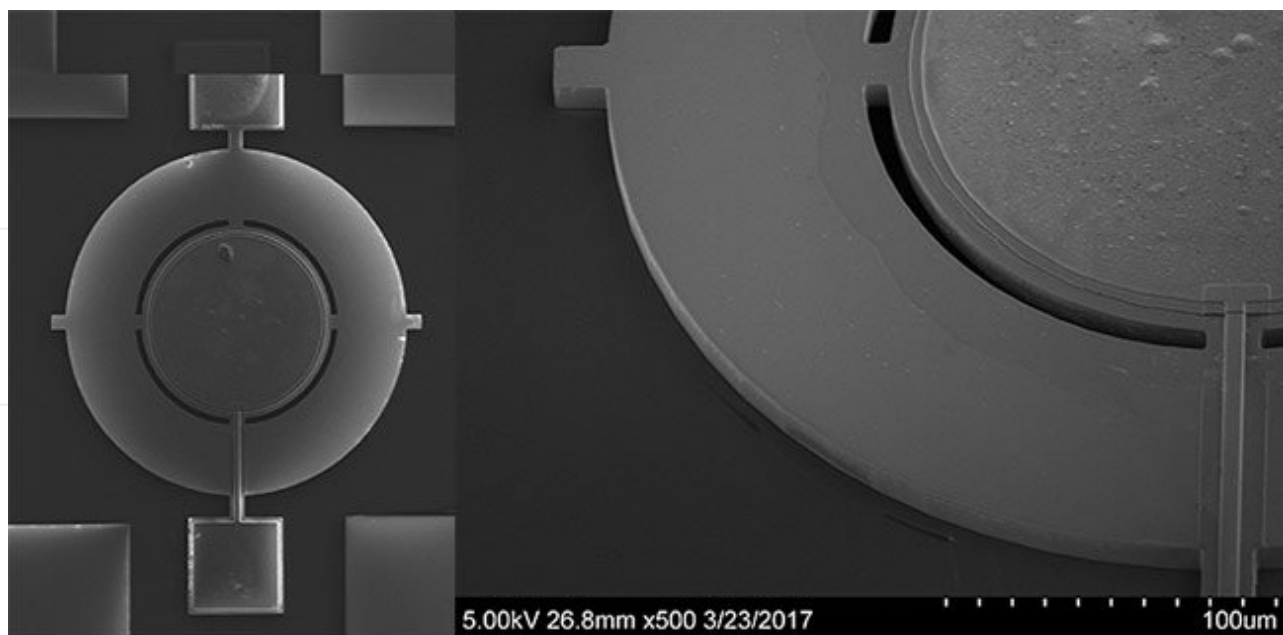
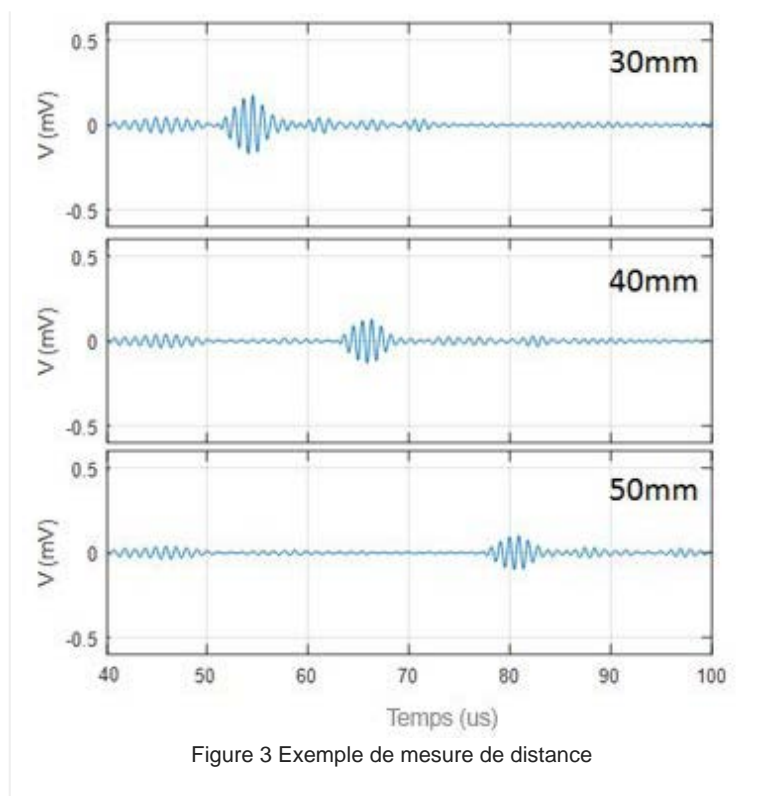


Figure 2 Micrographie d'un PMUT

Calibrage de la fréquence de résonance des PMUT

Dans un premier temps une technique de calibration de la fréquence de résonance des PMUT pour les applications de mesures de distance a été élaborée. Une micrographie du dispositif fabriqué est présentée à la figure 2. Le dispositif permet des mesures ayant une résolution millimétrique. Cette figure montre un exemple de mesure de distance d'un réflecteur positionné à différentes distances. Le dispositif est optimisé pour maximiser la puissance acoustique de sortie à la fréquence cible et de ce fait, il est essentiel que le dispositif ait une fréquence de résonance correspondant à la fréquence de l'application pour maximiser le transfert de puissance. La technique présentée ne nécessite qu'une seule étape de post-traitement (Robichaud et coll. 2018, JMEMS).



Topologie d'ancrage des PMUT

Une nouvelle topologie d'ancrage des PMUT a été créée. Cette technique permet de réduire significativement l'influence des variations de procédés de fabrication sur la fréquence de résonance du PMUT. Pour libérer les membranes, la technologie employée utilise le procédé DRIE (gravure ionique réactive profonde), qui entraîne des variations de dimensions des PMUT et de ce fait, de la fréquence de résonance. La nouvelle topologie résout cette problématique. Les résultats de nos mesures montrent que la variation de fréquence de résonance peut être réduite d'un facteur d'environ quatre grâce à la topologie proposée (Robichaud et coll. 2018, JMEMS).

Information supplémentaire

Pour plus d'information sur cette recherche, consulter les articles suivants :

Robichaud, A.; Cicek, P.-V.; Deslandes, D.; Nabki, F. 2018. « [A Novel Topology for Process Variation-Tolerant Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducers](#) ». *Journal of Microelectromechanical Systems*. PP(99) : 1-9

Robichaud, A.; Cicek, P.-V.; Deslandes, D.; Nabki, F. 2018. « [Frequency Tuning Technique of Piezoelectric Ultrasonic Transducers for Ranging Applications](#) » *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 27, no. 3, pp. 570-579, June 2018.



Alexandre Robichaud

Alexandre Robichaud est doctorant au Département de génie électrique de l'ÉTS. Ses recherches portent sur la conception et la fabrication de MEMS, la conception électronique et l'imagerie par ultrasons.

Programme : Génie électrique

Laboratoires de recherche : LACIME – Laboratoire de communications et d'intégration de la microélectronique



Paul-Vahe Cicek

Paul-Vahe Cicek est professeur au Département d'informatique de l'UQÀM et chercheur au Centre de recherche sur la conception et la fabrication de dispositifs microélectroniques et microsystèmes (CoFaMic).



Dominic Deslandes

Dominic Deslandes est professeur au Département de génie électrique de l'ÉTS. Ses recherches portent sur les antennes, les circuits RF et micro-ondes, l'intégration de systèmes sans fil, les lignes de transmission et les guides d'ondes.

Programme : Génie électrique Réseaux de télécommunications

Laboratoires de recherche : LACIME – Laboratoire de communications et d'intégration de la microélectronique



Frederic Nabki

Frédéric Nabki est professeur au Département de génie électrique de l'ÉTS. Ses recherches portent sur les microsystèmes récupérateurs d'énergie, les capteurs et les actionneurs intégrés. Il est l'un des fondateurs de SPARK Microsystems.

Programme : Génie électrique

Laboratoires de recherche : LACIME – Laboratoire de communications et d'intégration de la microélectronique

Références

Burrascano, P., S. Callegari, A. Montisci, M. Ricci et M. Versaci. 2014. Ultrasonic Nondestructive Evaluation Systems: Industrial Application Issues: Springer p.

Schmerr, L., et J.-S. Song. 2007. Ultrasonic nondestructive evaluation systems: Springer

Robichaud, D. Deslandes, P. Cicek and F. Nabki, « A Novel Topology for Process Variation-Tolerant Piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducers, » in Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 27, no. 6, pp. 1204-1212, Dec. 2018.

Robichaud, P. Cicek, D. Deslandes and F. Nabki, « Frequency Tuning Technique of Piezoelectric Ultrasonic Transducers for Ranging Applications, » in Journal of Microelectromechanical Systems, vol. 27, no. 3, pp. 570-579, June 2018.

Références images

L'image d'en-tête a été achetée sur Istock.com et est protégée par des droits d'auteur.

L'image de l'appareil effectuant des échographies a été achetée sur Istock.com et est protégée par des droits d'auteur.

Les autres images proviennent des auteurs. La licence CC de Substance s'applique.