

Titre: Conception, modélisation et évaluation de sondes ultrasonores appliquées à la bi-modalité, à base de polymères piézoélectriques.

Title: *Design, modelling and characterization of dual-modality ultrasound probe based on piezoelectric polymers.*

Lieu : laboratoire GREMAN UMR 7347 CNRS-INSA-Université de Tours, thème Microsystèmes piézoélectriques et capacitifs pour la transduction ultrasonore et la conversion d'énergie – site STMICROELECTRONICS, Tours Nord.

Place: *GREMAN laboratory UMR 7347 CNRS-INSA-University of Tours, Piezoelectric and capacitive microsystems for ultrasound transduction and energy harvesting – site STMICROELECTRONICS, Tours, France.*

Sujet de thèse : On s'attend, dans les prochaines années, à une révolution des dispositifs d'imagerie ultrasonore, avec l'arrivée, sur le marché, de composants ultrasonores intégrés regroupant, sur une même puce, des fonctions traditionnelles de conversion électroacoustique (en émission et en réception) et des briques d'électronique intégrée dont la complexité ne fera que croître avec le temps : de la pré-amplification individuelle des récepteurs à l'architecture de commande du faisceau ultrasonore. Les technologies de conversion électroacoustique compatibles avec ces nouvelles approches sont les transducteurs micro-usinés (de type capacitif – CMUT ou piézoélectrique – PMUT). A cela, s'ajoutent les matériaux polymères piézoélectriques, dits PVDF (polyvinylidène difluoride) ou P(VDF-TrFE), dont les techniques récentes de structuration par machine jet d'encre, permettent d'envisager la fabrication de barrettes linéaires sur silicium, à l'échelle d'un wafer. Cette technologie offre un avantage indéniable face aux technologies concurrentes, elle nécessite des températures de fabrication qui n'excèdent pas 200 °C. On est donc capable de fabriquer le transducteur sur une puce silicium qui intègre une électronique de pré-amplification sans risque d'endommagement. Par ailleurs, ces matériaux sont de formidables récepteurs acoustiques qui offrent des bandes passantes bien supérieures aux autres technologies pour couvrir plusieurs plages de fréquences. Leurs performances en émission sont par contre moindres et pouvoir les associer à une autre technologie est certainement la meilleure voie actuellement pour les exploiter au mieux. C'est l'objectif de ce travail de thèse.

Il s'agit de concevoir une sonde ultrasonore bi-modale, associant deux technologies. Une sonde ultrasonore bi-modale est un transducteur capable de réaliser deux fonctions. Ici, on aura une fonction émission plutôt « basses fréquences », autour de 10 MHz. Ces ultrasons, par propagation, génèrent des composantes non-linéaires qui ne peuvent être détectées par l'émetteur. La seconde fonction, de réception, va permettre de recevoir ces composantes non-linéaires. L'une est basée sur un émetteur CMUT pour la partie émission et l'autre, sur l'utilisation d'un réseau de récepteurs en PVDF. Des collaborations se feront notamment avec le laboratoire INSERM U1253 et deux partenaires industriels en support pour la fabrication de sonde CMUT et intégration, ainsi que pour le dispositif PVDF. Au-delà de la partie conception, ce travail de thèse devra permettre de dresser le cahier des charges d'une architecture électronique intégrée associée à ce type de transducteurs ultrasonores.

Les travaux de thèse qu'il est demandé de mettre en œuvre concernent, en premier lieu, le matériau PVDF. Il s'agira de mettre en place des méthodes de caractérisation des performances en réception pure des matériaux PVDF, typiquement son impédance électrique (en mode impulsif) et sa fonction de transfert en Volt/Pa. Ces données serviront de base au dimensionnement d'une chaîne de pré-amplification. Il est à noter que ce travail peut sembler assez courant pour des transducteurs mono-éléments du commerce mais il s'agit ici de travailler en haute fréquence, sur une large bande passante (multi-source) et directement sur wafer de silicium. En d'autres termes, ce travail est effectué avant la phase d'intégration, afin d'avoir les performances intrinsèques du dispositif. L'utilisation d'outils tels que des schémas électriques équivalents (type KLM) pourra servir de base comme modèle de référence comportemental.

Le second aspect des travaux concerne la partie architecture de l'ensemble source et récepteur. Cela comprend une partie de conception acoustique et de répartition des émetteurs et des récepteurs, sur un même circuit, pour observer au mieux le milieu. L'autre aspect repose sur le test et l'évaluation de différentes stratégies de formation de faisceau, à savoir le pilotage des émetteurs et des récepteurs, en vue de visualiser le milieu avec les meilleures performances possibles, que ce soit en termes de résolution, dynamique, contraste, etc... Ces architectures serviront de base à l'établissement d'un cahier des charges.

Thesis subject: *A technological revolution is expected in the coming years for ultrasonic imaging devices with the combination of two traditional functionalities on a single electronic chip: electroacoustic conversion for emission and reception, and integrated electronics which execute the individual amplification of probe elements to the beamforming. Electroacoustic conversion technologies compatible with this new approach are the micromachined ultrasonic transducers (capacitive - cMUT or piezoelectric - pMUT types). Moreover, new techniques of inkjet printing allow for structuring of piezoelectric polymer (PVDF or P(VDF-TrFE)) linear arrays on silicon which presents the advantage of not exceeding a fabrication temperature of 200°C. Therefore, the transducer can be directly designed on a silicon wafer, which already integrates all the electronics limiting the possibility of damage. These materials are efficient acoustic receivers that have a larger frequency bandwidth than other technologies. However, their emission efficiency is low, which leads to the necessity of combining them with another technology in order to exploit their full potential. This constitutes the objective of this thesis.*

The aim of the thesis is to design a dual-mode ultrasonic probe combining two technologies: a cMUT transmitter for the emission part and PVDF receivers. A dual-mode ultrasonic probe is a transducer able to fulfill two functions: an emission function around 10MHz to transmit ultrasound beam to the medium and a reception function that receives high-frequency non-linear components from the medium, which is not possible with only the transmitter. Collaborations will be established with the INSERM U1253 laboratory and two industrial partners that will be helpful for the cMUT probe and PVDF productions. Technical specifications are also expected for the integrated electronics of this new type of probe.

First, thesis work begins with the development of characterization methods to assess the reception efficiency for the PVDF material, specifically the electrical impedance and transfer function. These data will be the basis of the technical specifications for the preamplifiers. This work could seem classical for commercial mono-element transducer but here, the characterization is performed at high frequency, over a large frequency range and directly on silicon wafer. Therefore, device performances evaluated here are intrinsic characteristics, before the system integration. Equivalent circuit models like KLM will be used as reference for behavior study.

The second part of the thesis will focus on the architecture of the whole system (transmitters and receivers). Firstly, acoustical design and spatial distribution of the

transmitters and receivers will be explored. Secondly, testing and estimation of different beamforming strategies in order to optimize the ultrasound image (resolution, dynamic range or contrast) will be investigated.

Informations administratives :

Personnes à contacter : Dominique Certon (dominique.certon@univ-tours.fr), Franck Levassort (franck.levassort@univ-tours.fr) et Rémi Rouffaud (remi.rouffaud@univ-tours.fr).

Date limite de dépôt de candidature : 30 Avril 2017 pour un début en Septembre 2018

Administrative information :

Contact : Dominique Certon (dominique.certon@univ-tours.fr), Franck Levassort (franck.levassort@univ-tours.fr) et Rémi Rouffaud (remi.rouffaud@univ-tours.fr).

Application deadline : April 30, 2018 and beginning of the thesis in September 2018