

2.5. RCSF_

Titre : Réseau de capteurs gravimétriques Sans Fils pour la détection d'éléments traces métalliques

Porteur du projet : Nourdin YAAKOUBI

Laboratoire : Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine LAUM (UMR CNRS 6613), Université du Maine

Laboratoire associé :

SATIE, UMR CNRS 8029, ENS-Paris-Saclay ;
Le Cnam, Université de Cergy-Pontoise ;
ENS Rennes ;
et Université Gustave Eiffel, campus de Nantes.

Doctorant : Bilel ACHOUR

Encadrant : Kosai RAOOF, Nourdin YAAKOUBI, Najla FOURATI

Mots clés : Capteurs à ondes acoustiques de surface (SAW), Microtechnologies, Simulation par éléments finis, Ions lourds

Versus scientifiques ou technologiques levés :

Développement d'un outil d'analyse sensible, performant, capable de déterminer des concentrations d'ions lourds métalliques inférieures aux limites fixées par les normes européennes anti-pollution.

Etat :

2.5.1. Résumé du projet

Le suivi de la qualité des eaux est une des priorités de la région Pays de la Loire. En effet, l'eau peut constituer un risque sanitaire direct ou indirect, et ce en dépit des précautions préconisées et des contrôles drastiques. Ce risque est lié à la présence de certaines substances chimiques, notamment les ions lourds métalliques, dont les liens avec certaines pathologies ont été parfaitement établis. La présence de ces substances dans l'eau, même en quantité très faible, fait que l'on s'intéresse de plus en plus à la mise au point de nouvelles méthodes pour leur détection et quantification. Les techniques traditionnelles reposent sur le prélèvement d'échantillons des eaux à contrôler, puis à les analyser en laboratoire. C'est pour pallier cette limitation que ce projet a été mis en place.

Notre choix s'est donc porté sur les capteurs à ondes acoustiques de surfaces (SAW : Surface Acoustic Waves), des dispositifs qui, en plus de répondre à ces exigences, présentent de nombreux avantages, notamment en termes de sensibilité, fiabilité, reproductibilité ainsi qu'une détection en temps réel et sans marquage préalable des cibles d'intérêt.

Dans le cadre du projet RCSF, nous avons développé et réalisé deux capteurs SAW fonctionnant à 104 et 208 MHz. Ces deux dispositifs ont été fonctionnalisés avec le 9-[[4-((4-(9anthrylmethoxy)phényl)sulfanyl)méthyl)]méthyl] anthracène (TDP-AN) pour détecter les ions zinc qui contaminent, en partie, la rivière Sarthe.

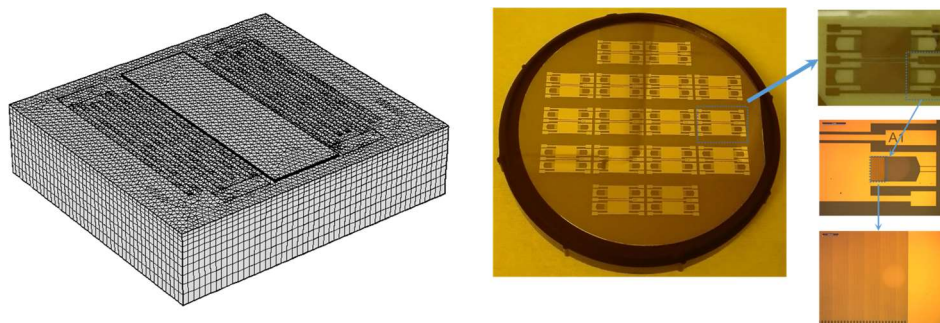


Figure 14. RCSF :

2.5.2. Résultats du projet

2.5.2.1. Résumé des travaux de thèse

Les capteurs SAW réalisés dans le cadre de cette thèse sont des lignes à retard réalisées sur un substrat piézoélectrique en tantalate de lithium (LiTaO₃ 36° rot). Ils fonctionnent à une fréquence de 104 MHz pour l'un et 208 MHz pour l'autre.

Le logiciel MATLAB a été tout d'abord utilisé pour simuler rapidement le comportement électrique des dispositifs SAW, en termes de fonction de transfert, à l'aide du modèle à réponse impulsionnelle. Cependant, et en dépit de l'avantage indéniable de MATLAB, en termes du temps de calcul, ce logiciel ne permet pas prendre en compte de façon directe et simple la densité des matériaux, le déplacement des particules ou encore le potentiel électrique lorsque les ondes acoustiques de surface se propagent le long du matériau piézoélectrique. Compte tenu de ces limitations, la simulation par la méthode des éléments finis (MEF), à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysique, s'est avérée être l'alternative la plus appropriée. Les résultats comparés de simulation du dispositif à 104 MHz ont montré que la configuration 2D permet de reproduire la forme globale de la fonction de transfert (spectre S₂₁), telle que mesurée expérimentalement, avec un temps de calcul largement inférieur à celui requis dans le cas 3D. Les calculs ont aussi montré que la valeur de sensibilité augmentait d'un facteur 4, conformément à la théorie, en faisant varier la fréquence de fonctionnement de 104 à 208 MHz.

Ces deux dispositifs SAW ont été par la suite réalisés dans la salle blanche du LAUM et ont été fonctionnalisés avec le 9-[[4-((4-(9anthrylmethoxy)phenyl)sulfanyl)methyl)methyl]anthracène (TDP-AN). Les résultats des mesures gravimétriques ont montré que les valeurs des limites de détection et constantes de dissociation K_d étaient comparables pour les deux capteurs et que l'augmentation de la fréquence de fonctionnement, de 104 à 208 MHz, a permis d'augmenter la sensibilité d'un facteur 2,3. Le capteur SAW fonctionnant à 208 MHz fonctionnalisé avec le TDP-AN, a ensuite été utilisé pour étudier la sélectivité vis-à-vis de deux autres ions lourds métalliques, le cuivre et le mercure.

2.5.2.2. Publications

Article dans un journal avec comité de lecture

B. Achour., G. Attia, C. Zerrouki., N. Fourati 2., Kosai Raoof., N. Yaakoubi. Simulation/Experiment Confrontation, an Efficient Approach for Sensitive SAW Sensors Design, *Sensors*, Sensors 2020, 20, 4994; doi:10.3390/s20174994 (IF = 3.1)

Communications avec actes

- B. Achour, Z. Mazouz, N. Fourati, C. Zerrouki, N. Aloui, N. Yaakoubi, A. Othmane et R. Kalfat, Ultrasensitive Ion Imprinted Polypyrrole Polymer Based Piezoelectric Sensors for Selective Detection of Lead Ions, Communication par affiche (Poster) et publication dans les proceedings du congrès IEEE SENSORS 2018, New Delhi, India, October 2018, DOI :10.1109/ICSENS.2018.8589710.

- B. Achour, N. Aloui, N. Fourati, C. Zerrouki et N. Yaakoubi, Modelling and simulation of SAW delay line sensors with COMSOL Multiphysics, MOL2NET 2018, International Conference on Multidisciplinary Sciences, 4th edition, Paris, France, December 2018, DOI:10.3390/mol2net-04-05887.

Communications orales

- B. Achour, C. Zerrouki, N. Fourati et N. Yaakoubi, "Modelling and simulation, a predicting and optimization tool for SAW sensors sensitivity enhancement", conférence APMM 2019, Dresde (Allemagne).
- B. Achour, C. Zerrouki, N. Fourati et N. Yaakoubi, "Modelling and simulation of SAW sensors using COMSOL Multiphysics", Congrès MADICA 2018, 6-8 Novembre 2018, Mahdia (Tunisie).

Communications par affiche

- B. Achour, N. Fourati, C. Zerrouki, N. Yaakoubi, Simulation/experiment confrontation, an efficient approach for sensitive SAW sensors design, The Ninth International Workshop on Biosensors 09-11 October 2019, Merzouga, Morocco

2.5.2.3. Dissémination

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet peuvent concerner plusieurs communautés :

- La communauté scientifique en général, et celle travaillant sur les capteurs gravimétriques en particulier. Ce projet a permis de mettre en évidence qu'une modélisation COMSOL en 2D était largement suffisante pour simuler le comportement d'un capteur SAW. Un protocole de réalisation en salle blanche a été par ailleurs optimisée, avec un taux de reproductibilité qui avoisine les 100%. L'ensemble de ces

AAP 2016- RCSF : Réseau de capteurs gravimétriques Sans Fils pour la détection d'éléments traces métalliques

résultats a été valorisé par un article, deux proceedings référés et plusieurs communications orales et par affiches dans des congrès internationaux ;

- Les pouvoirs publics et la région de la Loire, qui pourront tirer bénéfice des résultats de ce projet, envisagent à terme des plateformes de détection de métaux lourds avec des capteurs SAW autonomes et fonctionnant en mode sans fil.

2.5.2.4. Equipement et ressourcement

Pour ce projet nous avons utilisé la plateforme de micro-technologie (salle Blanche du LAUM) et les équipements comme : Pulvérisation cathodique (dépôt des métaux, tournette, photolithographie...)

Le projet RCSF a été financé à hauteur de 60 k€

- Salaire Thèse du Doctorant ; ½ financé par Wise et ½ Ministre MESRI moitié.
- Substrats tantalate de lithium (LiTaO₃ 36° rot).
- Produit Chimique,
- Déplacement des congrès Internationaux :
 - IEEE SENSORS 2018, New Delhi, India ;
 - Conference APMM 2019, Dresde, Allemagne ;
 - The Ninth International Workshop on Biosensors 09-11 October 2019, Merzouga, Morocco
- Frais de publication dans une revue Sensors 2020, 20, 4994; doi:10.3390/s20174994 (IF = 3.1)