



Titre Thèse	Corrélation de champs acoustique diffus hautes fréquences pour la détection de défauts dans des couches sur substrat	
(Co)-Directeur	Marc Duquennoy	E-mail : Marc.Duquennoy@uphf.fr
(Co)-Directeur	Emmanuel Moulin	E-mail : Emmanuel.Moulin@uphf.fr
(Co)-Encadrant	Lynda Chehami	E-mail : Lynda.chehami@uphf.fr
Laboratoire	IEMN (Site de Valenciennes)	Web :
Equipe	Groupe TPIA	Web :
Candidature		https://www.adum.fr/as/ed/proposition.pl
Financement prévu	Contrat Doctoral Etablissement	ULille <input type="checkbox"/> UPHF <input checked="" type="checkbox"/> Centrale Lille <input type="checkbox"/> Yncrea <input type="checkbox"/>
	Région – Autre <input type="checkbox"/>	Contrat de recherche <input checked="" type="checkbox"/> Préciser : ANR DACLOS
Financement acquis ? <input type="checkbox"/>	Contrats de Recherche ANR	Autre <input type="checkbox"/> Préciser

Résumé du sujet :

Les structures Couche-Sur-Substrat (ou LOS, en anglais, pour Layer-on-Substrat) sont le siège de nombreuses dégradations liées à la fois à des défauts de fabrication lors de la croissance de couches minces (inhomogénéité d'épaisseur, manque d'adhérence de la couche au substrat) allant jusqu'au des cas extrêmes comme la déformation du wafer, et/ou la création de fissures et de délaminages. Face à ces problématiques, en particulier, les problèmes d'adhérences, les industries de la microélectronique sont constamment à la recherche de techniques de caractérisation de la qualité de collage des assemblages de wafers des puces électroniques. Nous proposons ici, dans le cadre du projet ANR DACLOS, une méthode d'inspection non destructive basée sur une approche originale dite *corrélacion de champs acoustique* pour imager ce type de défauts.

Grâce à l'utilisation du champ acoustique diffus en conjonction avec l'analyse de dispersion des ondes élastiques de surface, l'ensemble de surface de la structure Couche-Sur-Substrat pourrait être sondée avec un gain de temps considérable en utilisant des longueurs d'onde jusqu'à 2 ordres plus grandes que l'épaisseur de la couche à analyser.

Au laboratoire IEMN-SITE DE VALENCIENNES, les membres du groupe TPIA disposent de compétences techniques liées notamment à la caractérisation de microstructures en utilisant les transducteurs interdigités (IDTs). Le test d'évaluation des LOS est généralement effectué avec une impulsion acoustique à large bande qui est envoyée à l'échantillon, et les vibrations sont ensuite mesurées par un vibromètre laser. La figure 1 illustre ce principe déjà mis en place par l'équipe TPIA.

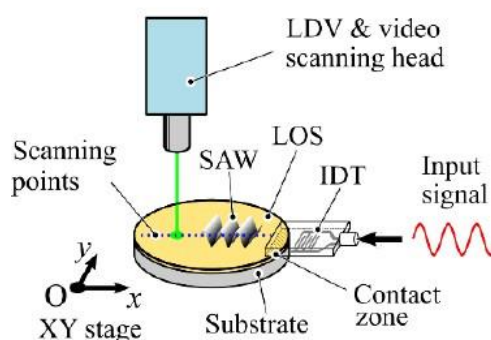


Fig1. Banc de caractérisation expérimental en utilisant des IDTs.

A l'état actuel, l'évaluation des LOS basée sur les IDTs ne permet qu'une caractérisation unidimensionnelle (le long d'un seul chemin de propagation). L'IDT est déporté de la structure et un contact acoustique est établie mécaniquement. Afin de couvrir toute la zone (évaluation 2D), on peut appliquer le principe de la tomographie 2D, par exemple. Cependant, à haute fréquences, cette procédure doit être effectuée avec une grande précision (un nombre important de contacts acoustiques bien contrôlés est donc nécessaire), et l'automatisation présente un défi.

En parallèle, les membres du groupe TPIA développent des méthodes de traitement du signal qui sont à la pointe de l'acoustique physique actuelle, en particulier celles orientées vers une surveillance passive des structures complexes par corrélation de bruit ambiant. L'approche de corrélation de champ acoustique, utilisée initialement dans des applications géophysiques ou en acoustique sous-marine, constitue une base de la reconstruction passive des fonctions de Green (ou réponse impulsionnelle) du milieu.

D'un point de vue technique, le laboratoire IEMN dispose de moyens techniques considérables : 1) accès à la salle blanche de (IEMN-LCI, Lille) pour la fabrication des IDTs et des échantillons. 2) L'IEMN SITE DE VALENCIENNES est équipé d'une plateforme de caractérisation par vibrométrie laser Doppler (WaveSurf) dont les gammes de fréquences peuvent aller du DC à 1.2 GHz. La plateforme WaveSurf, en particulier, permet différents types de caractérisations : (i) dispositifs acoustiques tels que les filtres SAW (à ondes acoustiques de surface), cristaux phononiques ou transducteurs ultrasonores; (ii) les MEMS (récupérateurs d'énergie vibratoire, PMUT, CMUT) ; (iii) caractérisations dimensionnelles et mécaniques des micro-structures LOS telles que les couches minces et les revêtements (mesure de l'épaisseur, des constantes élastiques et de la contrainte résiduelle). Les installations de balayage mécanique permettent de caractériser des échantillons de tailles allant de quelques micromètres à plusieurs centimètres. Bien entendu, nous nous appuyerons sur cette plateforme pour les expérimentations. Néanmoins, l'imagerie ultrasonore basée sur la corrélation de champs acoustique à haute fréquence que nous proposons dans cette thèse sera particulièrement difficile et des problèmes spécifiques devront être pris en compte.

L'idée générale de cette thèse, en plus de l'aspect expérimental, est de mettre en œuvre des algorithmes de détection et d'imagerie de défauts à haute fréquences. Comme cela est connu dans les techniques de tomographie classiques, une importante densité de capteurs/imageurs est nécessaire. Dans cette thèse, en combinant la détection optique à l'approche de corrélation d'ondes de surfaces sur des signaux recueillis à partir d'une grille de points pourrait permettre de lever cette contrainte. En effet, l'utilisation d'un vibromètre laser pour la détection d'ondes diffuses permet d'obtenir une forte densité d'informations. Ainsi, plusieurs outils de traitement de signal basés sur des algorithmes à formalisme matriciel peuvent être appliqués en permettant par conséquent récupérer des informations importantes sur l'état de santé des échantillons.

En particulier, nous proposons d'aborder les problématiques suivantes :

- 1) D'un point de vue instrumentation, une configuration LDV standard est suffisante, mais une partie émission IDT doit être intégrée et le contact acoustique doit être maîtrisé pour la transmission de l'énergie acoustique dans l'échantillon.
- 2) D'un point de vue traitement de signal : dans un premier temps, un travail doit être effectué en amont sur la détermination des propriétés réverbérantes de la structure pour en déduire le nombre d'IDTs nécessaire pour générer un champ diffus suffisant pour la détection.
- 3) Validation: les tests seront à effectuer sur des échantillons LOS existant au laboratoire, il sera aussi demandé au candidat de réaliser de nouveaux échantillons à la salle blanche.
- 4) Tests sur échantillons industriels : Il est prévu dans le projet que la société STMicroelectronics nous fournira des échantillons, pour la validation finale.

Ces travaux s'appuieront pour une large part sur des développements expérimentaux réalisés au laboratoire (plateforme WaveSurf) ainsi que sur des algorithmes d'imagerie (tel que le beamforming) reposant sur des concepts de la physique des ondes. Enfin, les aspects théoriques seront naturellement essentiels.

Le but de ces recherches est à terme le développement d'une technique 2D tomographique passive à haute fréquence dont l'objectif est de réaliser un « proof-of-concept » d'un système de contrôle non-destructif des échantillons à petite échelle de la génie microélectronique.

Profil du candidat :

Le candidat devra posséder de bonnes compétences théoriques sur la physique des ondes acoustiques (ultrasonores) dans les solides. Il devra maîtriser des outils de traitement de signal. De très bonnes capacités d'expérimentateur seront également indispensables (salle blanche, en particulier).

Date de démarrage du projet : Mars 2022

Date de début de thèse : 1^{er} septembre 2022