

« Etude des états de surface inter-pixels dans les détecteurs semi-conducteurs de rayons X pour l'imagerie médicale » (Thèse 2015)



Pilotage :

LETI/DTBS Département des microTechnologies pour la Biologie et la Santé.

CEA-Grenoble-LETI, DTBS/STD/LDET, 17 rue des martyrs 38054 Grenoble cedex 9

Co-encadrement : Murielle JURDIT et Guillaume MONTEMONT

Directeur de thèse : Raphael Clerc, Institut d'Optique Graduate School et Université Jean Monnet,
Lab. Hubert Curien, 42000 St Etienne.

Contexte et motivation :

Dans le cadre de ses activités en imagerie médicale, le LETI développe depuis plusieurs années une nouvelle technologie de détecteurs à base de matériaux semi-conducteurs CdTe/CdZnTe dans le but d'améliorer la qualité des images pour des applications radiologie et scanner X (détection X), gamma caméra (détection gamma), et pour le contrôle non destructif (détection X). En effet, les capteurs actuels ne font pas seulement des images mais mesurent l'énergie individuelle de chaque photon X ou gamma incident. Les premiers prototypes réalisés ont permis de montrer tout l'intérêt de ces détecteurs spectrométriques au niveau de l'amélioration de la qualité de l'image et de la diminution de dose, ainsi que pour la reconnaissance des matériaux composant la scène.

Cependant, les performances de ces imageurs n'atteignent pas leur limite théorique, notamment concernant l'homogénéité des images et la résolution en énergie, limitant la sensibilité des capteurs en imagerie médicale (SPECT) et l'identification des matériaux pour le contrôle non destructif (contrôle de bagages X par exemple).

Problématique de la thèse :

Une des origines de la détérioration des performances des détecteurs à base de CdTe est liée à l'état de la surface non métallisée entre les électrodes qui composent les pixels. Cette surface comporte des défauts qui sont autant de pièges. Ils créent une zone de charge d'espace, une distorsion des lignes de champ électrique et un piégeage des porteurs de charge.

Les conséquences pour les imageurs X et gamma sont une dégradation de la résolution en énergie, une perte de sensibilité, et une diminution de la résolution spatiale. Par ailleurs, ces paramètres ne sont pas homogènes spatialement, complexifiant les techniques de correction.

Deux voies complémentaires sont proposées pour surmonter ce problème. La première passe par la caractérisation, la compréhension et la maîtrise de la surface entre les électrodes. La seconde

propose de contourner le problème par une modification technologique, qui consisterait à introduire des électrodes de proximité (« non-contact electrode ») pour diminuer ces zones de charge de l'espace.



Positionnement :

Les états de surface des matériaux semi-conducteurs sont étudiés depuis longtemps, notamment sur le CdTe. Cependant, la technologie (photolithographie, dépôt, gravure) permettant de faire des petits pixels sur ce matériau, la disponibilité de grands substrats, ainsi que l'électronique pour faire de la spectrométrie associée, ne sont eux disponibles que depuis peu de temps. C'est pourquoi la connaissance sur le sujet aux échelles qui nous intéressent est aujourd'hui insuffisante, et nécessite ces travaux de recherche. Les électrodes de proximité et les détecteurs à drift sont principalement étudiés sur Germanium ou Silicium. Leur mise en œuvre avec du CdTe reste aujourd'hui marginale, ce qui ouvre des perspectives d'innovation.

Objectif :

L'objectif de la thèse est de caractériser / comprendre les phénomènes surfaciques dans les détecteurs CdTe, afin de les maîtriser ou en contourner les effets.

Approche technologique et scientifique :

Pour comprendre et maîtriser les états de surface du CdTe, différents traitements physico-chimiques seront testés à partir de données issues de la littérature et de l'expérience du laboratoire. La surface sera caractérisée physiquement, par exemple à partir de spectroscopie de niveaux pièges. Puis, des dispositifs seront testés sous rayonnement. La modélisation physique du matériau semi-conducteur sera utilisée pour corréliser la réponse du détecteur sous rayonnement avec l'état de la surface.

Dans le but de contourner les défauts surfaciques, l'apport d'électrodes de proximité (de type capacité métal/isolant/semi-conducteur) sera évalué par simulation et par des expériences sous rayonnement.

Moyens disponibles pour les développements et pour la validation :

Le travail de thèse sera centré au Laboratoire Détecteurs (DTBS/LDET) pour les traitements physico-chimiques, la simulation numérique, et les tests sous irradiation. Un banc de test sous rayonnement spécifique sera monté.

La caractérisation physique sera effectuée à partir des moyens au sein du LETI ou dans les laboratoires environnants. Des mesures fines pourront être envisagées en synchrotron à l'ESRF ou avec un faisceau d'ions à l'université de Surrey (Angleterre).

Risques :

Le sujet comporte deux volets complémentaires : l'étude de la surface du matériau semi-conducteur et celle des électrodes de proximité.

Pour la première partie, la difficulté sera d'identifier les moyens de caractérisation pertinents et reproductibles de la surface pour caractériser les défauts qui ont un effet sur les performances des détecteurs.

Pour la seconde partie, la difficulté sera de maîtriser technologiquement la réalisation des dispositifs de test.

Dans les deux cas, le doctorant pourra s'appuyer sur les compétences et les moyens (salle blanche, et équipements) du laboratoire et du LETI. Les performances des traitements proposés seront directement évaluées sur les dispositifs imageurs.

Programme de travail :

Le doctorant devra d'abord se familiariser avec le domaine de la détection de rayonnement X et gamma ainsi qu'avec le matériau CdTe. Le programme de travail proposé comprendra les phases suivantes :

1. Prise en main des bancs de tests existants et des outils de simulation
2. Essais de physico-chimie et caractérisation physique.
3. Simulation de l'effet des électrodes de proximité.
4. Fabrication de échantillons avec les électrodes simulées.
5. Montage d'un banc dédié et caractérisation sous rayonnement.
6. Rapport et soutenance.

Calendrier :

1ère année : Etat de l'art. Essais de physico-chimie et développement d'un modèle physique. Prise en main des outils de simulation et simulation des électrodes de proximité.

2ème année : Caractérisation physique des surfaces. Réalisation de détecteurs avec une architecture de électrodes dédiées.

3ème année : Caractérisation des capteurs sous irradiation. Synthèse des résultats expérimentaux, rapport et soutenance.

Formation :

Le candidat pourra avoir une formation en physique des matériaux, physique de base, électronique ou optoélectronique. Une connaissance de la physique des semi-conducteurs est souhaitée. Un goût pour l'expérimentation serait également apprécié.



Pendant la thèse, le candidat acquerra des connaissances sur les détecteurs de rayons X et gamma, en particulier à base de CdTe, ainsi que sur l'imagerie médicale. Il développera ses compétences dans la modélisation, la simulation, et l'expérimentation.

Les débouchés professionnels peuvent se trouver naturellement chez les partenaires industriels du laboratoire, tel que MultiX, ou chez les sociétés qui utilisent du CdTe pour d'autres types d'imageurs, comme Sofradir.

Résumé :

Dans le cadre de ses activités en imagerie médicale, le LETI développe depuis plusieurs années une nouvelle technologie de détecteurs à base de matériaux semi-conducteurs CdTe/CdZnTe dans le but de proposer de nouvelles performances en imagerie pour des applications médicales, type radiologie ou scanner (détection X), gamma caméra (détection gamma) et contrôle non destructif (détection X). Les premiers prototypes réalisés ont montré tout l'intérêt au niveau de l'amélioration de la qualité image et de la diminution de dose.

Pour les applications à fort taux de comptage ou à forte résolution en énergie, **les performances de ces imageurs sont limitées par les défauts à la surface des détecteurs semi-conducteurs**, qui modifient le champ électrique local et piègent les porteurs de charges.

L'objectif de cette thèse est de caractériser ces états de surface, modéliser leur effet et proposer des solutions physico-chimiques ou technologiques pour les contrôler.

Il s'agit donc d'une thèse en **physique** (compréhension des phénomènes dans les semi-conducteurs) et en **électronique** (circuit et traitement du signal électrique), susceptible d'améliorer les performances en homogénéité, en résolution spatiale, en sensibilité, de nos détecteurs de rayonnement X ou gamma.

Abstract:

As part of its activities in medical imaging, LETI has developed over several years a new technology of detectors based on CdTe/CdZnTe semiconductor material, in order to offer new performance X-ray and gamma-ray imaging for different applications like radiology, CT scanner, gamma-camera, and non-destructive testing. The first prototypes have confirmed the potential of this technology in improving image quality and dose reduction.

However, for high count rates or high resolution spectrometric applications, the imaging performances of CdTe-based sensors are limited by surface defects, which modify the local electric field and trap charge carriers.

The objective of this thesis is to characterize those surface states, model their impact, and provide physico-chemical or technological solutions to control them.

This thesis requires skills in Physics (understanding phenomena in semi-conductors) and in Electronics (circuit and treatment of electric signal).

Expected improvements are homogeneity, spatial resolution, sensibility for our X-ray and gamma-ray detectors.



Contact :

Murielle JURDIT, Ingénieur R&D

Département micro-Technologies pour la Biologie et la Santé (DTBS)

Laboratoire Détecteurs (LDET)

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

MINATEC Campus | 17 rue des martyrs | F-38054 Grenoble Cedex

T. +33 (0)4 38 78 35 70 | F. +33 (0)4 38 78 51 64

murielle.jurdit@cea.fr

Raphaël Clerc (directeur de thèse) Laboratoire Hubert Curien (UMR 5516 CNRS), Université Jean Monnet, Institut d'Optique Graduate School, 18 rue Benoît Lauras 42000, Saint-Etienne, France (raphael.clerc@institutoptique.fr).