IRFU : Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers

Saclay

DAp/LSIS

Vers une mesure de la réponse spatiale pixel de détecteurs IR avec des rayons X

Spécialité CHIMIE

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil DAp/LSIS

Candidature avant le 01/04/2023

Durée 5 mois

Poursuite possible en thèse non

Contact PICHON Thibault
+33 1 69 08 57 23
thibault.pichon@cea.fr

Résumé

L'objectif de ce stage est d'étudier la faisabilité d'une nouvelle méthode de mesure de réponse spatiale pixel de détecteur IR avec des rayons X. Une approche basée sur l'expérience et la simulation sera adoptée.

Sujet détaillé

Dans le domaine infrarouge (IR), les détecteurs de photons les plus utilisés en astrophysique sont les détecteurs matriciels composés d'un matériau absorbant de HgCdTe, sur un substrat de CdZnTe. La taille typique des pixels est de l'ordre de la quinzaine de micron. La fabrication de ce type de détecteurs est une compétence mondialement reconnue du CEA-Leti (Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information) à Grenoble. Le Département d'Astrophysique (DAp) du CEA/IRFU est lui-même une référence historique dans le domaine de l'instrumentation spatiale et la caractérisation de détecteurs. Depuis 2010, une collaboration s'est établie entre le Leti et le DAp et l'industriel Lynred pour développer et caractériser des détecteurs IR pour l'astrophysique et le spatial [1]. Cette collaboration s'inscrit dans le cadre plus général de la mise en place par l'Europe d'une filière industrielle pour l'approvisionnement de ce type de détecteurs, dans le but de remplacer les détecteurs américains actuellement utilisés pour les systèmes d'observation sol et spatial. En effet, l'Europe, à travers la commission européenne et l'Agence Spatiale Européenne (ESA), finance via deux projets (le projet Astronomy Format Array, ALFA [2] et le projet Astronomy European Infrared Detector, (ASTEROID) [2] le développement et l'industrialisation de détecteurs IR HgCdTe pour l'astrophysique.
Au DAp, des bancs de tests ont été développés pour caractériser en détail les détecteurs fabriqués par le CEA/Leti. Un des paramètres d'intérêt pour le développement d'instrument est la Réponse Spatiale Pixel (RSP), elle caractérise la réponse d'un pixel élémentaire de la matrice face à la génération très localisée de porteurs dans le matériau absorbant en différents endroits du pixel. Ce balayage permet ainsi de résoudre la réponse spatiale interne du pixel. Cette réponse dépend de la géométrie du pixel et des propriétés de transport électronique du matériau absorbant. Un exemple de RSP idéale (porte) est représenté sur la Figure 1. Dans la pratique, la RSP d'un pixel s'approche plus d'une gaussienne 2D, dans la mesure où les porteurs générés dans un pixel peuvent diffuser et être collectés dans le pixel voisin.

Figure 1 – (a) Exemple de réponse pixel idéal et (b) sa transformée de Fourrier associée. Tiré de [3]
Une méthode directe de mesure de la RSP s'appuie sur la projection un point lumineux bien inférieur à la taille pixel. En pratique, cette mesure peut s'avérer complexe à mettre en œuvre. La résolution est limitée par la mécanique, et la taille du spot contrainte par la tâche de diffraction de l'objectif. Par ailleurs, pour caractériser la RSP de détecteurs quantiques IR, il est nécessaire de travailler dans un environnement cryogénique ce qui complexifie la mise en place de la mesure.
Des méthodes alternatives s'appuient sur une mesure directe de la FTP (Fonction de Transfer Pixel, autrement dit la transformée de Fourrier de la RSP). Il s'agit alors d'illuminer le détecteur avec des fréquences spatiales connues. Plusieurs méthodes rentrent dans ce cadre, on citera par exemple la méthode des trous d'Young, la méthode des miroirs de Lloyd, et la méthode Continuously Self Imaging Grating (CSIG) [4]. Cette dernière est en cours de développement au DAp, dans le cadre d'une collaboration avec l'ONERA (Office national d'études et de recherches aérospatiales). De manière analogue aux mesures directes de RSP, ces méthodes restent très complexes à développer aux températures cryogéniques de fonctionnement des détecteurs.
D'autres méthodes s'attachent à s'affranchir des contraintes optiques. Ainsi, le CEA/Leti a développé une méthode de mesure basée sur la génération d'électrons directement dans le pixel en utilisant un microscope électronique à balayage [5]. Cette méthode permet de gagner en résolution spatiale mais nécessite l'acquisition d'équipement très coûteux.

Au DAp, nous proposons d'étudier une nouvelle méthode de mesure de réponse pixel, basée sur l'utilisation de rayons X. L'interaction des photons X avec le matériau du pixel va générer des porteurs fortement localisés dans le pixel. La localisation de cette interaction au sein du pixel affecté permettrait ainsi de déterminer la RSP. A la différence des méthodes décrites précédemment cette méthode bénéficierait d'une grande facilité de mise en œuvre, mais reporte la complexité sur l'analyse de données. En effet, cette méthode ne permet pas de maitriser la position d'interaction du photon avec la matrice de détecteur expérimentalement. La détermination de la RSP à partir de de la localisation de l'impact s'appuie sur des hypothèses associées aux phénomènes physiques mis en jeu.

L'objectif de ce stage est d'étudier la faisabilité de cette nouvelle méthode de mesure. Le stagiaire s'appuiera sur des mesures effectuées sous irradiation, à partir desquelles il cherchera à développer une méthode d'extraction de RSP pixel. Par ailleurs, ces travaux s'appuieront sur le développement d'outils de simulation (transport électronique, Monte Carlo), lesquels permettront d'évaluer la possibilité d'effectuer des mesures de réponse pixel avec des rayons X. Plusieurs méthodes d'analyse des images simulées et acquises sous irradiation pourront être envisagées (méthode de barycentre, utilisation d'une « bibliothèque » de RSP simulée, …). En fonction de l'avancement des travaux, une campagne de mesures pourra être envisagée. Les résultats obtenus pourront être comparés à des méthodes optiques.

Ces travaux s'effectueront dans la cadre d'une collaboration avec le CEA/Leti. Le stagiaire pourra s'appuyer sur les compétences instrumentales du DAp, et la connaissance technologique des détecteurs du CEA/Leti.

[1] O. Boulade et al., « Development activities on NIR large format MCT detectors for astrophysics and space science at CEA and SOFRADIR », présenté à SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, Edinburgh, United Kingdom, août 2016, p. 99150C. doi: 10.1117/12.2231295.
[2] B. Fièque et al., « Development of astronomy large focal plane array "ALFA" at Sofradir and CEA », in High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy VIII, Austin, United States, juill. 2018, p. 5. doi: 10.1117/12.2311713.
[3] E. de Verneuil Huard, « Vers une approche métrologique de la mesure de fonction de transfert de détecteurs infrarouge », Université de Paris Saclay, 2020.
[4] E. Huard, S. Derelle, J. Jaeck, O. Gravrand, et J. Primot, « Development of a Cryogenic Test Bench for Spectral MTF Measurement on Midwave Infrared Focal Plane Arrays », Journal of Elec Materi, vol. 49, no 11, p. 6957?6962, nov. 2020, doi: 10.1007/s11664-020-08388-0.
[5] A. Yèche, F. Boulard, et O. Gravrand, « Development of Electron Beam Induced Current Characterization of HgCdTe Based Photodiodes », Journal of Elec Materi, vol. 48, no 10, p. 6045?6052, oct. 2019, doi: 10.1007/s11664-019-07140-7.

Mots clés

physique du semi-conducteur, interaction rayonnement matière, python, simulation, analyse de données

Compétences

Logiciels

Measurement of the pixel spatial response of IR detectors with X-rays

Summary

Full description

Keywords

Skills

Softwares