

Proposition de thèse ISAE-SUPAERO

Effets de l'environnement radiatif spatial sur les détecteurs infrarouges

Directeurs de thèse : Vincent Goiffon (co-directeur à définir)

Encadrants :

- CNES : Cédric Virmontois
- Airbus Defence and Space : Olivier Saint-Pé
- CEA LETI : Olivier Gravrand

Financement : CNES et Airbus DS

Laboratoire d'accueil : CEA LETI (Grenoble)

Contact : vincent.goiffon@isae-sup aero.fr

Domaine scientifique : Optoélectronique, Détection infrarouge, Microélectronique, Physique des semiconducteurs, Photodétection

Mots-clés : Détecteurs infrarouges, environnement radiatif spatial, effets des radiations sur les semiconducteurs, matériaux II-VI, défauts semiconducteurs, déplacement atomique, ionisation, observation de la Terre, courant d'obscurité, courant de fuite, MCT, HgCdTe, dose ionisante, dose de déplacement.

Résumé :

Les détecteurs Infra-Rouges (IR) jouent depuis longtemps un rôle important dans le domaine de l'observation de la Terre depuis l'espace, notamment pour les applications de météorologie, de climatologie et de chimie de l'atmosphère. Compte tenu du large domaine de longueur d'onde à étudier (de 1 à 16 microns), du besoin d'une grande sensibilité et d'une réponse rapide et de l'intérêt de fonctionner à la plus haute température possible, les détecteurs basés sur le matériau semi-conducteur CdHgTe (aussi appelé MCT) sont de loin les plus utilisés.

Cette technologie de détecteurs IR est utilisée depuis les premières générations d'instruments d'observation de la Terre européens à hautes performances dans le domaine IR (dès les années 70). Cependant, peu d'études scientifiques ont été à ce jour menées en Europe pour comprendre et maîtriser les interactions entre ces détecteurs et l'environnement radiatif spatial, contrairement aux détecteurs basés sur des technologies silicium.

Au-delà de cette absence de fond scientifique, le besoin de mener des études plus poussées sur l'effet des radiations (protons, gamma...) sur les détecteurs IR à photodiodes MCT multiplexées est également justifié par plusieurs autres raisons:

- l'augmentation du nombre de pixels et de leur température de fonctionnement amplifient ces dégradations induites par l'environnement spatial
- il est critique d'anticiper la dégradation des performances des détecteurs embarqués à bord des satellites d'observation afin de pouvoir les dimensionner le plus justement possible et ce d'autant plus que les charges utiles IR sont de plus en plus nombreuses/exigeantes en terme de performances et que l'on cherche à les faire fonctionner à des températures les plus élevées possibles
- Plusieurs technologies de détection tentent désormais de concurrencer le matériau MCT pour l'observation IR spatiale. Afin de réaliser une comparaison la plus exhaustive possible entre les différentes technologies candidates pour de futures missions, il convient dès lors d'intégrer dans cet exercice la prise en compte de leurs différences de comportement aux radiations provenant de l'environnement spatial

L'objectif de cette thèse est de caractériser, analyser et comprendre les dégradations induites par la dose ionisante cumulée et les effets de déplacement générés par l'environnement radiatif spatial dans les détecteurs infrarouges. La technologie cible pour ces travaux de thèse est la technologie standard LETI-Sofradir CdHgTe n/p utilisée par la grande majorité des instruments IR européens actuellement en cours de développement. Afin de décorrélérer les sources de dégradations, les variations suivantes seront explorées sur des structures de test dédiées :

- des variations géométriques des échantillons étudiés pour mettre en évidence le rôle des différentes régions et interfaces des détecteurs
- des variations de procédé de fabrication pour en évaluer l'impact sur la résistance aux radiations
- l'utilisation de différentes sources de radiation (protons, gamma, neutron...) pour discriminer le comportement des défauts induits par la dose ionisante cumulée des défauts induits par les déplacements atomiques

Ce sujet possède un double enjeu :

- Le premier consiste à améliorer la connaissance des défauts électriquement actifs qui limitent les performances des détecteurs infrarouges, aussi bien après fabrication qu'après irradiation. Ces résultats permettront potentiellement d'améliorer ces performances ou de renforcer la tenue aux radiations de cette technologie.
- Le second vise à obtenir une vision claire de la résistance à l'environnement radiatif spatial de ce type d'imageurs, à valider qu'ils pourront être utilisés dans les prochaines missions spatiales et à anticiper leur comportement pour une mission donnée, éventuellement à travers le développement de modèles prédictifs.

Le comportement des détecteurs infrarouges étudiés sera comparé à la littérature, et notamment au comportement mieux connu des détecteurs à base de silicium largement utilisés en environnement radiatif. Parmi les paramètres visés par cette étude, le rendement quantique,

le courant d'obscurité et le phénomène de « Random Telegraph Signal (RTS) » seront les cibles principales.

La réalisation du travail de thèse se fera principalement au CEA LETI (Grenoble), dans le département optronique DOPT/SICM/LIR, avec des séjours occasionnels à l'ISAE-SUPAERO (Toulouse), dans le groupe CIMI dédié à la recherche sur les imageurs intégrés, en étroite collaboration avec le département architectures et développements de chaînes de détection d'Airbus Defence and Space et du CNES (Toulouse).

De façon détaillée, le doctorant devra :

- Réaliser une revue de l'état de l'art :
 - de la physique des détecteurs infrarouges CdHgTe n/p dopés lacune de Mercure et de leur procédé de fabrication
 - des effets des rayonnements ionisants et des effets des déplacements atomiques sur le matériau CdHgTe
- Choisir parmi les objets disponibles (plusieurs géométries, dopages ou passivation) les matrices les plus judicieuses, en s'appuyant sur son étude bibliographique. Il devra également définir les sources de radiation les plus pertinentes pour mener à bien l'étude.
- Irradier ces matrices et les caractériser, en termes de performance pure, mais également en termes de pixels clignotants (RTS). L'objectif est la quantification des dégradations des diodes sous irradiation et la mise en évidence des paramètres influant sur la dégradation des diodes sous irradiations. Des outils d'analyse seront certainement à développer pour réaliser une étude exhaustive des phénomènes observés.
- Synthétiser des résultats obtenus en mettant en valeur les effets identifiés et leur origine. Selon le niveau de compréhension atteint durant la thèse, des modèles permettant d'anticiper les effets de l'environnement radiatif spatial sur les technologies étudiées pourront être proposés. Ce travail d'analyse pourra également s'appuyer sur les données de vol acquises en orbite sur les détecteurs IR en technologies similaires, produites et qualifiées par Sofradir.

Le doctorant sera amené à valoriser ses résultats sous forme de publication scientifiques et de communications dans des colloques internationaux.

Profil recherché :

Master / Diplôme d'Ingénieur (ou équivalent) dans au moins une des spécialités suivantes :

- nano/microélectronique (conception, procédés de fabrication...)
- optoélectronique
- physique du semi-conducteur
- physique du solide
- physique des particules
- interaction particule-matière
- environnement radiatif spatial et effets sur les composants électroniques