

Sujet de Thèse - CIFRE-ANRT– 09 /2019

Capteur d'images pour les très faibles niveaux de lumière

1. Contexte :

Le sujet de la thèse concerne les capteurs d'images à très faibles niveaux de bruits visant des applications où les niveaux de lumière sont extrêmement faibles. Ces détecteurs utilisés dans les domaines scientifiques, spatiaux, biomédicaux et de la surveillance et de la sécurité, cherchent à atteindre des rapports signal à bruit de plus en plus élevés dans des conditions de très faible luminosité, comme par exemple lors d'une nuit sans lune.

Les capteurs d'images CMOS ne permettant pas aujourd'hui d'atteindre des niveaux de détectivité comparables aux détecteurs utilisés pour ces applications lorsque les conditions de flux photoniques deviennent extrêmes (quelques photons par pixel et par image). Ces derniers font actuellement appel à des technologies complexes, encombrantes, coûteuse et lourdes à mettre en œuvre comme par exemple les tubes intensificateurs d'images (voir figure 1). Ce projet de recherche vise à simplifier les méthodes de détection usuelles en réalisant des détecteurs en technologie CMOS sur silicium monocristallin (voir figure 2) proposant une rupture en performances.



Figure 1 : Exemple de tube intensificateur d'images

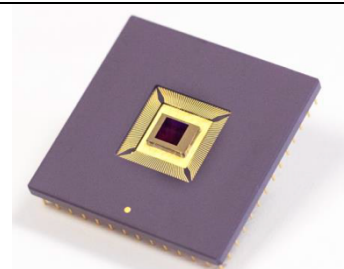
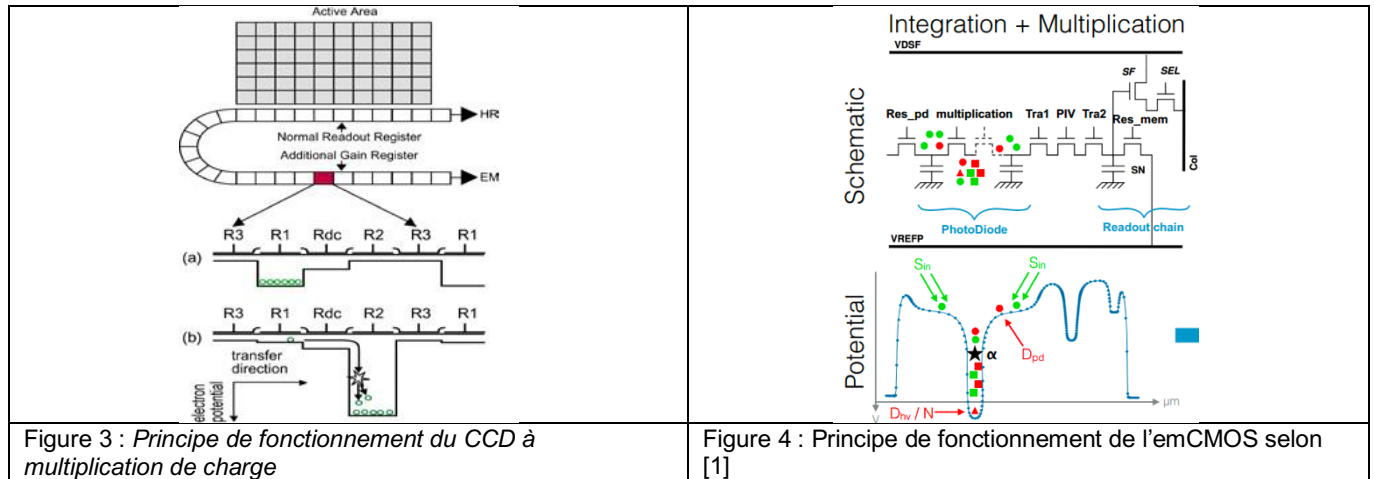


Figure 2 : Capteur d'images CMOS en silicium monocristallin

2. Objectifs et enjeux scientifiques et technologiques :

La méthode visée pour atteindre cet objectif est la multiplication des charges dans le pixel via l'ionisation par impact. Cette technique, déjà employée dans les années 80 dans les capteurs CCD (voir figure 3) est récemment redevenue pertinente grâce à l'introduction de capteur CMOS à électro-multiplication, l'emCMOS (voir figure 4). L'état de l'art [1], montre à la fois l'intérêt de cette technique mais également les points durs de cette dernière (notamment le courant d'obscurité). En effet, si cette technologie amène une amplification très tôt dans le processus de détection, ce qui permet en théorie d'atteindre un bruit de lecture ramené en entrée très faible, elle présente en réalité un excès en bruit qui dépend entre autres du gain de multiplication utilisé [2]. Les enjeux scientifiques et techniques de cette thèse résident d'une part dans une compréhension fine des phénomènes physiques de l'ionisation par impact ainsi que des sources

de courant d'obscurité associées ou non à ce processus de multiplication et d'autre part à une modélisation et une validation par des véhicules de tests atteignant les performances visées.

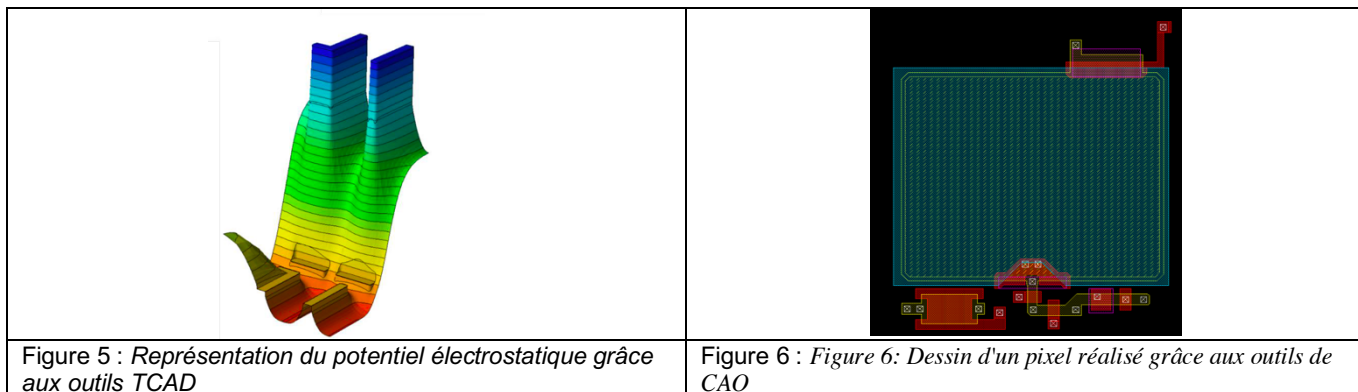


Récemment Pyxalis a développé une brique à transfert de charges en technologie CMOS 90 nm et souhaite intégrer la méthode de multiplication de charges dans cette technologie. Cette brique en rupture avec le technique d'imagerie habituelles, permet de profiter à la fois des avantages du CCD, comme la multiplication de charge à l'aide de faibles niveaux de tensions mais aussi des avantages des technologies CMOS, comme la conversion analogique-digitale massivement parallèle, le traitement d'images, la gestion des modes de fonctionnement, etc. directement sur la puce.

3. Axes de recherche et développement

Le travail de thèse aura pour but de développer une architecture de pixel, brique essentielle du détecteur d'images, permettant d'atteindre des performances meilleures que l'état de l'art actuel, démontrées grâce à des capteurs d'images monolithique réalisés sur silicium. Il s'agira pour le candidat de mettre en œuvre au mieux la technologie du fondeur en concevant des pixels originaux afin d'atteindre un seuil de détection suffisamment faible. Pour ce faire, il devra se familiariser avec les techniques utilisées à l'état de l'art : **utiliser les outils de simulation par éléments finis (TCAD) afin de modéliser l'étage d'amplification** (voir figure 5), **affiner les modèles de bruit en excès existant, réaliser un démonstrateur** grâce aux outils de CAO (voir figure 6) en utilisant le véhicule de test pixels CREAPYX [3] mis à disposition et enfin caractériser ces démonstrateurs pour en valider les performances. Il devra ensuite tirer les enseignements des essais réalisés et fournir des modèles analytiques qui permettront dans l'avenir de réaliser des capteurs commercialisables.

A la croisée du monde de la recherche et de l'entreprise innovante cette thèse cherche à exploiter au mieux les nouvelles technologies issues des capteurs d'image CMOS sur silicium pour réaliser des détecteurs de hautes performances. Les avancées ainsi accomplies pourront faire l'objet de publications dans des journaux scientifiques ainsi que de présentations lors de conférences internationales.



4. Contacts

- **Entreprise (localisation principale de la thèse):** Pyxalis (Moirans 38)
- **Laboratoire :** ISAE-SUPAERO (Toulouse 31)
- **Type de financement :** CIFRE-ANRT
- **Réservé aux étudiants de l'UE**
- **Directeur de thèse :** remi.barbier@isae-supero.fr
- **Co-directeur de thèse @ Pyxalis :** julien.michelot@pyxalis.com &

5. Bibliographie

[1] C. Buton, P. Fereyre, M. Fournier, F. Mayer, R. Barbier, "Electron multiplying CMOS as Shack-Hartmann wavefront sensor," Proc. SPIE 9915, High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy VII, 99151J (27 July 2016)

[2] T. Brugière, F. Mayer, P. Fereyre, A. Dominjon and R. Barbier, "A Theory of Multiplication Noise for Electron Multiplying CMOS Image Sensors," in *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 61, no. 7, pp. 2412-2418, July 2014.

[3] http://www.pyxalis.com/pyxalis-wp/wp-download/brochures/Creapyx_product.pdf