

Soutenance de thèse

Alexandre LE ROCH soutiendra sa thèse de doctorat, préparée au sein de l'équipe d'accueil doctoral ISAE-ONERA OLIMPES et intitulée «*Analyse de l'augmentation et de la fluctuation du courant d'obscurité des capteurs d'images CMOS dans les environnements radiatifs spatiaux et nucléaires*»

Le 9 juillet 2020 à 14h00, salle des thèses - ISAE-SUPAERO

devant le jury composé de

M. Vincent GOIFFON	Professeur ISAE-SUPAERO	Directeur de thèse
M. Jérôme BOCH	Professeur Université de Montpellier	Rapporteur
M. Jérôme BAUDOT	Professeur Université de Strasbourg/IPHC	Rapporteur
M. Eddy SIMOEN	Professeur Université de Gand/IMEC	
Mme Marta BAGATIN	Professeure associée Université de Padoue	
M. Cédric VIRMONTOIS	Ingénieur CNES Toulouse	Co-directeur de thèse
M. Philippe PAILLET	Directeur de Recherche CEA	
M. Nicolas NOLHIER	Professeur Université Toulouse 3/LAAS	

Résumé : Inspirés des technologies microélectroniques CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), les capteurs d'images CMOS sont aujourd'hui largement utilisés dans de nombreuses applications grand public et dominent le marché commercial des caméras intégrées allant des smartphones aux appareils photo reflex. Cette large utilisation des capteurs d'images CMOS est apparue au cours des dernières décennies durant lesquelles de nombreuses avancées technologiques leurs ont permis d'atteindre d'excellentes performances ainsi qu'une faible consommation d'énergie. Naturellement, ces imageurs ont peu à peu remplacé les capteurs d'images CCD (Charge Couple Device) et sont désormais considérés dans un nombre croissant d'applications spatiales et nucléaires. Cependant, le comportement de ces dispositifs microélectroniques dans les environnements radiatifs spatiaux et nucléaires est encore mal compris. Par conséquent, il est nécessaire d'étudier les différents mécanismes qui conduisent à la dégradation des performances des capteurs d'images CMOS en milieu radiatif. Parmi ces dégradations, l'augmentation du courant d'obscurité, signal parasite observé dans l'obscurité et qui s'ajoute au signal utile, est prépondérante. En plus de la réduction drastique du courant d'obscurité principalement liée à la mise au point de la photodiode pincée, la tenue des capteurs d'images CMOS face à la dose ionisante s'est vue grandement améliorée dans la gamme de doses communément rencontrée dans les applications spatiales. Cependant, les effets de la dose de déplacement, relative à l'altération de la structure cristalline du silicium, subsistent. De par la grande augmentation du courant d'obscurité attribuée aux défauts créés par les déplacements, cette contribution représente désormais la principale cause de dégradation des capteurs d'images CMOS dans les applications spatiales et nucléaires. Ces travaux se concentrent donc principalement sur le rôle de la structure des défauts cristallins créés par la dose de déplacement dans l'augmentation du courant d'obscurité des capteurs d'images CMOS. Un intérêt particulier est accordé aux défauts métastables qui sont probablement la cause des fluctuations discrètes et aléatoires du courant d'obscurité. Cette étude présente un double enjeu : Le premier enjeu vise à contribuer à l'amélioration des connaissances des principes physiques mis en jeu dans le silicium cristallin face aux radiations. L'étude des interactions particule-matière, associées à l'architecture matricielle des capteurs d'images, vise à fournir des outils statistiques fiables pour l'analyse des défauts induits par les radiations dans le silicium. Ces observations et résultats peuvent être étendus à tous les dispositifs à base de silicium et plus généralement aux autres dispositifs à semi-conducteurs. Le deuxième enjeu vise à identifier les différents mécanismes conduisant à l'augmentation du courant d'obscurité des capteurs d'images CMOS lorsqu'ils fonctionnent dans des environnements radiatifs. En ce sens, l'étude vise à identifier et à améliorer la connaissance des comportements des sources de courant d'obscurité, notamment face aux forts champs électriques, dans le but d'optimiser les capteurs d'images CMOS pour les futures applications spatiales et nucléaires.

Mots-clés : Courant d'obscurité, Capteur d'image CMOS, Photodiode pincée, Signal des télégraphistes, Dose de déplacement, Dose ionisante

Summary: Thanks to their extremely fast development (increasingly "intelligent" pixels, face-back illumination, pinned photodiode, optimized doping profiles ...), CMOS imagers are becoming a must for a growing number of space applications (observation Earth and space, stellar sensors, optical telecommunications, event detection, scientific missions, etc.). These image sensors, which are predominant in the commercial market for embedded cameras, are the perennial path for future space imaging missions and are taken into consideration by CNES's detection architects for future projects (THR NG, post-CSO ...). This is particularly true for pinned photodiode CMOS image sensors operating with intra-pixel charge transfer. This technology offers extremely low levels of noise and dark current compared to traditional CMOS imagers (with conventional photodiode without charge transfer), leading to a marked increase in sensitivity. CMOS imagers with pinned photodiode (CIS PPD) are currently under development and characterization for future CNES projects (TDI XS CMOS for THR NG). The behavior of these devices vis-a-vis the space environment is being understood by a thesis initiated in 2012 on the topic of the spectroscopy of the current of darkness in the CMOS imager. This work has recently shown that the spectroscopy method is very efficient and that it allows to know the nature of the point crystalline defects created by the irradiations. This study won the Best Student Paper Award at the Radiation Effects on Components and Systems (RADECS) 2015. The purpose of this new thesis is to extend this spectroscopic method to the analysis of crystalline defect clusters created by spatial radiations and in particular to metastable defects causing the Random Telegraph Signal (RTS) phenomenon. This subject has a double stake: The first is to improve our knowledge of the principles of solid-state physics involved in the component associated with its architecture and its complex operation (intra-pixel charge transfer). This information will be of great use to CNES detection architects who develop image sensors optimized for future space projects. The second is to improve our knowledge of the radiation behavior on this type of CMOS imagers (CIS PPD) and to certify that they can be used in future space missions. The use of dark current spectroscopy will allow us to obtain information on the creation of stable or metastable defects clusters (RTS pixel) as well as their distribution thanks to the large number of pixels used in the matrix of the " imager. This information will provide important answers to the expected degradations of the CIS PPDs in the space environment. Finally, the knowledge of these defects can be injected into the models of prediction of the degradations due to the effects of the radiations to optimize their performances.

Keywords: Dark Current, CMOS image sensor, Pinned photodiode, Radom Telegraph Signal, Displacement damage, Ionizion dose