PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Modélisation des effets des radiations dans les composants électroniques GaN

Référence : **PHY-DPHY-2024-13**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 2024	**Date limite de candidature :** mars 2024

Mots clés

Monte Carlo, ionisation, basse énergie, GEANT4, GaN

Profil et compétences recherchées

Nous recherchons un(e) étudiant(e) Physicien Master et/ou 5ème année école d'ingénieur ayant des connaissances de physique générale, physique du solide, la physique des matériaux, physique du composant

Les écoles et formations types : Master (Université)

Ecoles d'ingénieurs (, INSA Lyon, Toulouse, Polytech,Telecom Physique Strasbourg, PHELMA, etc.

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Les radiations, qu'elles proviennent de sources comme l'espace ou d'environnements liés à l'activité anthropique comme le nucléaire civil, produisent des défaillances et accélèrent le vieillissement des composants électroniques. Cette problématique est commune au CEA et à l'ONERA qui développent des solutions pour pallier les nuisances occasionnées par les environnements radiatifs les plus contraignants comme ceux des ceintures de radiation spatiale ou des centrales nucléaires. En effet, l'ionisation et les charges produites au cours d'une irradiation perturbent fortement le fonctionnement des électroniques des systèmes contraints par ces environnements. Cela produit des transitoires, comme des dégradations cumulées, ces dernières entraînant la dérive des caractéristiques des composants électroniques. Il est donc capital d'évaluer précisément les densités de porteurs de charges générés dans les parties sensibles des composants, comme les jonctions où règnent des champs électriques qui transforment les charges induites en signal transitoire ou encore comme les isolants dans lesquels peuvent se piéger des quantités de charge croissantes, qui vont sur la durée entraîner des dysfonctionnements (dose ionisante). La modélisation fine du transport des particules chargées (électrons, protons et ions) dans les matériaux de la microélectronique est donc essentielle pour estimer au mieux le dépôt dans les volumes sensibles des structures élémentaires de l'électronique.

Dans ce contexte, le CEA, en partenariat avec l'ONERA, a développé, au cours de deux thèses précédentes le module MicroElec implémenté dans la librairie Geant4 (https://geant4.web.cern.ch/) dédiée au transport des particules dans la matière par la méthode de Monte Carlo. Ce module permet de manière unique d'estimer la distribution spatiale des charges consécutives au passage d'un ion dans le matériau actif des transistors de la microélectronique. Le module MicroElec traite actuellement 11 matériaux adaptés à la microélectronique moderne. Cependant, certains matériaux largement utilisés dans l'électronique de puissance ne sont pas encore pris en compte. Le domaine d'application de ce module GEANT4 a vocation à être étendu à une liste aussi large que possible de matériaux d'intérêt pour les applications du CEA et de l'ONERA. Cela se fait dans le cadre de la collaboration internationale GEANT4 dont nous faisons partie. En particulier, les composants en technologie GaN, qui présentent un intérêt industriel pour leurs performances en puissance et en RF, utilisent des composés dans leur assemblages qui ne sont pas traités par le module MicroElec comme GaN, AlxGa1-xN, etc.

L'objectif de la thèse est donc d'étendre le module MicroElec de Geant4 pour ces nouveaux matériaux et d'évaluer précisément la production de charges parasites dans ces composants dans le but de modéliser finement la réponse électrique d'un composant de puissance suite au passage de particules chargées. Les matériaux d'intérêt sont (liste non exhaustive) : GaN, AlN , Al(x)Ga(1-x)N, Cu, Epoxy, TiW, Kapton. Le principal enjeu consiste donc à calculer pour les particules incidentes (électron, proton, ion), les sections efficaces d'interaction utilisées dans le code de Monte Carlo. Cela repose sur l'exploitation de l'indice diélectrique complexe du matériau. Lorsque des données expérimentales sont disponibles dans la littérature, nous les traitons à l'aide de routines python développées à l'ONERA. Ces données ne sont pas toujours disponibles, dans ce cas le travail consistera à calculer à l'aide de simulations ab initio (TDFT : Time

dependent Density Functional Theory), les indices complexes des matériaux d'intérêt. On utilisera pour cela les outils du CEA. Nous en déduirons la fonction de perte d'énergie dont on déduira alors les sections efficaces d'interaction à l'aide de nos outils python. L'ensemble des outils nécessaires à ce travail ont été développés au cours de 2 thèses précédentes, cependant des améliorations doivent y être apportées. Les modèles de calcul pour les protons et les ions reposent sur des approximations que le/la thésard(e) pourra améliorer. On souhaite aussi élargir la gamme en énergie de microelec. D'autres voies d'amélioration pourront aussi faire l'objet du travail de thèse (modèle de piégeage des électrons dans les isolants par exemple).

Ce travail réalisé, nous pourrons alors tester le programme dans des cas concrets. On pourra par exemple calculer un dépôt d'énergie dans le volume sensible d'un composant, calculer une dose ionisante ou encore un rendement d'émission secondaire. Cela permettra de valider l'approche, tout comme les comparaisons à plus haute énergie avec d'autres modèles de la librairie GEANT4 (Penelope) qui pourront être faites.

Collaborations envisagées

Financement 50% CEA 50% ONERA

Laboratoire d'accueil CEA DAM	**Directeur de thèse**
Lieu : Bruyères-Le-Châtel	Nom : Christophe Inguimbert
Contact : Damien Lambert	Laboratoire : ONERA-DPHY
Email: damien.lambert@cea.fr	Tél. : 05 62 25 27 34
	Email : christophe.inguimbert@onera.fr

Pour plus d'informations : https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche