

Etude de cellules solaires InGaAsN/GaAs en environnement radiatif spatial

Maxime Levillayer^{1,2}, Inès Massiot¹, Sophie Duzellier², Thierry Nuns², Christophe Inguibert², Corinne Aicardi³, Stéphanie Parola⁴, Alexandre Arnoult¹, Guilhem Almuneau¹, and Laurent Artola²

¹ LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, 7 Avenue du Colonel Roche, 31400 Toulouse, France

² ONERA/DPHY, University de Toulouse, Toulouse, France

³ Centre National d'Études Spatiales, 31400 Toulouse, France

⁴ IES, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France

Les satellites artificiels couvrent des applications de télécommunication et d'observation scientifique, ainsi que des besoins militaires, et doivent être alimentés pour le temps de la mission par des systèmes d'alimentation électrique assez performants et fiables dans un milieu spatial sévère, en particulier du fait de l'environnement radiatif naturel. Ces systèmes reposent très majoritairement sur la conversion photovoltaïque et la technologie des cellules solaires à multi-jonction (MJSC) à base de semiconducteurs III-V.

La structure standard de MJSC utilisée pour les applications spatiales est la tri-jonction GaInP/(In)GaAs/Ge. Il existe des solutions pour augmenter le rendement de ces MJSC, aujourd'hui autour de 30%. Pour cela il est nécessaire de mieux exploiter le proche infrarouge en utilisant une sous-cellule de bande interdite autour de 1 eV se substituant à la sous-cellule de germanium ou comme une quatrième sous-cellule. Cette sous-cellule doit être préférentiellement accordée en maille avec le substrat Ge ou le GaAs et doit être capable de générer au moins 15 mA/cm² en condition d'intégration. De plus, cette sous-cellule et le matériau avec lequel elle est conçue doivent être résistants aux radiations spatiales afin de garantir une durée de vie de la structure MJSC adaptée à la mission spatiale.

Nous avons étudié le quaternaire InGaAsN accordé sur GaAs pour répondre à ces exigences d'intégration MJSC et de tenue en milieu spatial. L'insertion d'In et de N dans la matrice de GaAs permet en effet de réduire significativement le bandgap tout en conservant l'accord de maille. Cette étude a consisté en premier lieu à trouver les bonnes conditions de croissance par épitaxie par jets moléculaires (EJM) pour fabriquer des couches épaisses de InGaAsN et des cellules solaires. Des caractérisations optiques et électriques de ce matériau nous ont permis de comprendre l'impact des conditions de croissance épitaxiale sur les propriétés opto-électroniques de l'InGaAsN et ainsi d'optimiser notre procédé de fabrication.

Des cellules solaires simple jonction et tandem ont été fabriquées avant d'être caractérisées par mesure courant-tension et réponse spectrale. En conditions d'intégration MJSC, nos cellules pourraient générer des densités de courant environ égales à 8 mA/cm².

Les cellules solaires InGaAsN ainsi que des échantillons massifs ont été mesurés en photoluminescence (PL) et spectroscopie de défauts profonds (DLTS), puis ont été irradiés d'une part par un flux électrons et d'autre part par protons avec une énergie 1 MeV typique des normes de test représentatives de l'environnement spatial. La comparaison des caractéristiques matériaux et cellules avant et après irradiation nous a permis d'analyser les mécanismes de dégradation ayant lieu dans l'InGaAsN.