

Adaptation des cellules photovoltaïques en silicium cristallin à l'environnement spatial

Charles SERON¹, Nicolas ENJALBERT¹, Samuel HARRISON¹, Sébastien DUBOIS¹
¹Université Grenoble Alpes, CEA Liten, Campus INES – Le Bourget du Lac, France

Aujourd'hui, la demande énergétique pour des projets spatiaux (constellations pour la télécommunication, stations orbitales...) ne peut plus être satisfaite par les technologies III-V seules, qui dominent ce marché spécifique depuis les années 1980, pour des raisons de coût élevé et de cadences de production limitées de ces technologies. L'utilisation de cellules solaires photovoltaïques basées sur des plaquettes en silicium cristallin (c-Si) apparaît donc inévitable : capacité de production élevée, coût historiquement faible [1]. Cependant, l'environnement spatial est particulièrement exigeant pour les cellules en c-Si. Les irradiations qu'elles subissent (protons, électrons) génèrent des défauts volumiques électriquement actifs, qui dégradent leur performance. Ainsi des adaptations des cellules à base de c-Si doivent être mises en œuvre, tout en maintenant un niveau de compétitivité élevé (coût maîtrisé en particulier). Cela passe notamment par des adaptations des matériaux, comme par exemple l'utilisation de plaquettes de type p, bien moins sensibles aux environnements irradiés que celles de type n [2].

Une comparaison complète des technologies matures basées sur le c-Si, a permis de montrer que les cellules à hétérojonction de silicium (SHJ) semblent particulièrement adaptées à ces adaptations : très haut niveau de performances, structure à émetteur face avant (prérequis pour le spatial) lorsque des plaquettes de type p sont utilisées sans modification des lignes de production basées sur le type n, etc. Ainsi, au CEA-INES, des études sur les cellules SHJ ont été conduites, afin d'identifier des leviers permettant de renforcer leur compatibilité avec le spatial.

Un premier levier est l'utilisation de plaquettes amincies, qui permettent d'une part une réduction notable de la masse des cellules, ce qui représente un critère important dans l'optique d'un lancement en orbite ; et d'autre part une résistance accrue aux radiations, en réduisant l'impact d'une longueur de diffusion réduite des porteurs de charge. Ainsi, des cellules SHJ de 60 μm et 90 μm d'épaisseur, sur des plaquettes de format industriel M2 et G12 respectivement, ont été fabriquées, avec de très bons niveaux de performance (Figure 1).

Un autre levier est la guérison en opération des défauts générés par l'irradiation. Ce phénomène, couramment appelé « self-curing », est basé sur l'interaction entre des défauts préalablement introduits dans le volume du c-Si avec les défauts électriquement actifs liés à l'irradiation (essentiellement des paires de lacunes) afin de neutraliser ces derniers. Des cellules traitées pour le « self-curing » ont été irradiées à une dose équivalente à plusieurs années de mission dans l'espace. Elles ont ensuite été exposées à des conditions représentatives de l'environnement spatial à basse orbite (1 sun, 80°C). Sous ces conditions, les cellules dégradées ont vu leur niveau de performance remonter progressivement avec des gains en tension de circuit ouvert (V_{OC}) supérieurs à 140 mV (Figure 2), correspondant à des niveaux de performance identiques à ceux d'avant irradiation (> 700 mV).

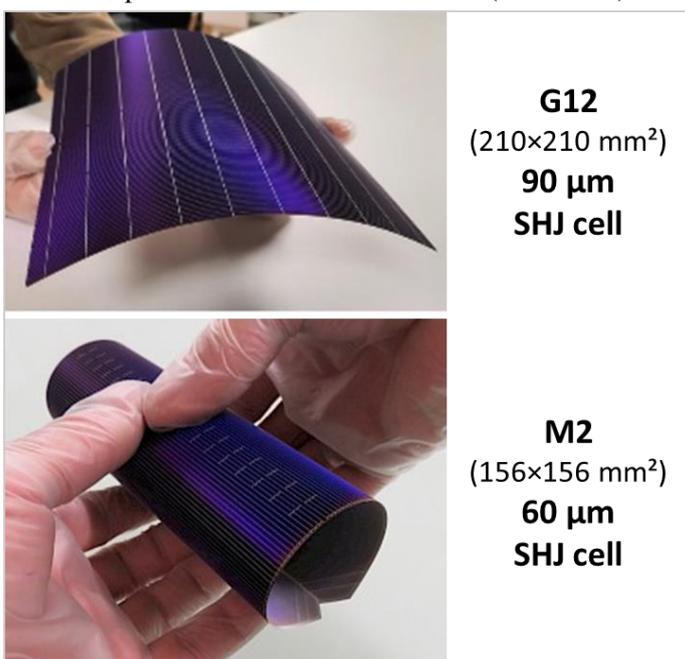


Figure 1 : Cellules SHJ de fine épaisseur à différents formats industriels

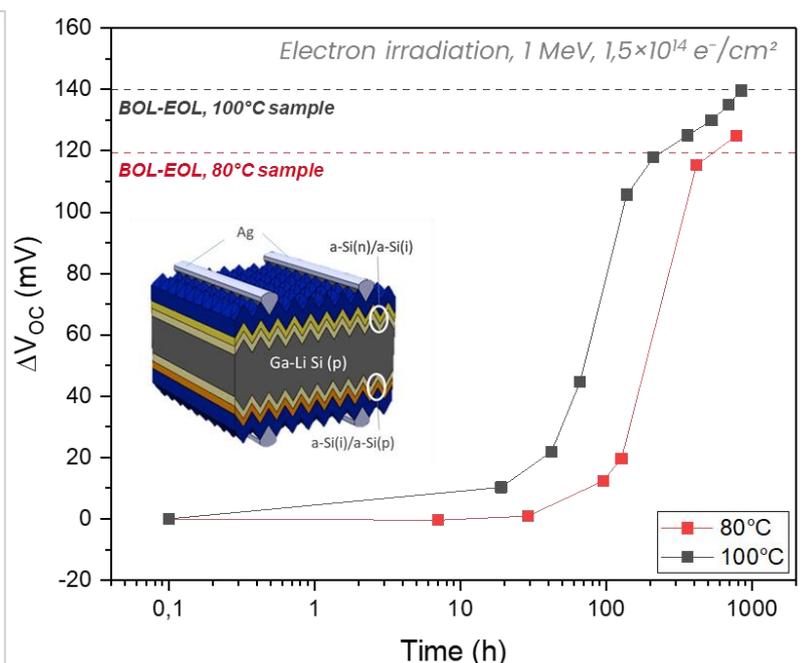


Figure 2 : Evolution du gain en V_{OC} post-irradiation pour des cellules SHJ durant le « self-curing »

Références :

[1] VDMA, « 15th ITRPV », 2024 ; [2] O. Guillot *et al.*, *Sol. RRL*, vol. 9, 2025