

Quantification absolue des absorbeurs Cu(In,Ga)Se₂ par une approche multi-techniques en surface et en volume

Muriel Bouttemy^{1,2}, Solène Béchu^{1,2}, Anaïs Loubat^{1,2}, Jackie Vigneron^{1,2}, Damien Aureau^{1,2}, Mathieu Frégnaux^{1,2}, Bertrand Theys^{1,3}, François Jomard⁴, Jocelyne Marciano⁵, Patrick Chapon⁵, Arnaud Etcheberry^{1,2}

¹ IPVF, Institut Photovoltaïque d'Île-de-France, 30 RD 128, 91120 Palaiseau, France,

² ILV, Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, Université Paris-Saclay, 78035 Versailles, France,

³ CNRS, IPVF, UMR 9006, 30 RD 128, 91120, Palaiseau, France,

⁴ GEMAC, Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, Université Paris-Saclay, 78035 Versailles, France,

⁵ HORIBA Scientific, avenue de la Vauve, Passage Jobin Yvon, CS 45002, 91120 Palaiseau, France.

Contact : solene.bechu@ipvf.fr & arnaud.etcheberry@uvsq.fr

Les capacités de conversion des cellules solaires à base d'absorbeurs Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS) dépendent des propriétés intrinsèques de ce type d'alliage mais également des interfaces auxquelles cet absorbeur est associé. En face avant, la composition à l'interface CIGS/couche tampon est la clé de l'ingénierie globale de ces composants PV. Il est possible de définir des paramètres déterminants pour les performances des cellules, tant dans la couche qu'au niveau des interfaces : les ratios de composition entre le Ga, l'In et le Cu, le GGI et le CGI ($[\text{Ga}]/([\text{Ga}]+[\text{In}])$ et $[\text{Cu}]/([\text{Ga}]+[\text{In}])$ respectivement) et la balance des éléments 2*VI/(I+3*III) (soit $2*[\text{Se}]/([\text{Cu}]+3*([\text{Ga}]+[\text{In}]])$). La détermination de ces ratios peut se faire par différentes méthodologies d'analyse, représentatives des différentes résolutions spatiales accessibles (latérales et en profondeur). Pour toutes les données concernant la surface, la spectroscopie XPS s'avère particulièrement bien adaptée et renseigne également sur les environnements chimiques. Concernant les données en « volume », des mesures par EDS et/ou XRF, à la fois précises et faciles à mettre en œuvre, peuvent être réalisées. Enfin, lorsqu'une discrétisation sur la profondeur est nécessaire, trois techniques complémentaires de profilage peuvent être envisagées : l'XPS, le SIMS et la GD-OES. Une méthodologie d'analyse permettant d'obtenir une approche globale de quantification via l'utilisation de ces différentes techniques d'analyses a donc été développée pour accéder à une quantification que nous qualifierons d'« absolue » des absorbeurs CIGS.

Pour la détermination XPS des paramètres GGI et CGI en surface, un travail plus approfondi a cependant été nécessaire. En effet, CIGS est un matériau dont les raies principales généralement exploitées en XPS sont très largement séparées en énergie. Cette dispersion rend les corrections de profondeur d'échappement plus délicates. Une autre difficulté réside dans la possible distribution en profondeur des paramètres GGI, CGI et 2*VI/(I+3*III) qui interfère avec la remarque précédente. Enfin ce matériau est sujet à du « collage » de carbone de contamination (inhérent au contact à l'atmosphère) qui est très variable selon les parcours d'ingénierie. C'est une source conséquente d'écrantage différentiel des photopics, dont les intensités sont atténuées, et ce, de façon différente selon leur position en énergie (i.e. leur profondeur d'échappement) à ce qui représente une source potentielle supplémentaire d'erreur dans les estimations de composition. Nous allons discuter ces points et montrer que l'exploitation des fenêtres Ga3d-In4d et Cu3p accessibles sur ce matériau et peu exploitées dans la littérature peuvent être une source plus fiable car affranchie d'une grande partie des difficultés mentionnées au dessus. Nous allons aussi montrer que la fenêtre Ga3d-In4d peut être travaillée en comparaison avec des matériaux de référence parfaitement monocristallin, ici Ga_xIn_{1-x}As. L'accès à la valeur absolue des ratios sera donc discuté dans ce contexte global comparatif.

Remerciements : Ce travail est financé par le programme I de l'IPVF soutenu par le programme d'investissement d'avenir ANR IEED 002 01. Les supports d'échantillons ont été fournis par la société ZSW pour CIGS et Almae Technologie pour InGaAs.