Simulation numérique de cellules tandem à base de pérovskites sur substrat de silicium

A. Rolland[1], L. Pedesseau[1], A. Beck[1], M. Kepenekian[2], C. Katan[2], Y. Huang[1], S. Wang[1], C. Cornet[1], O. Durand[1], and J. Even[1,a)]

[1]*UMR FOTON, CNRS, INSA Rennes, Rennes, F35708, France*

[2] *CNRS, Institut des Sciences Chimiques de Rennes, UMR 6226, 35042 Rennes, France*

Dans le but de réduire les coûts de production et de rendre compétitives les technologies photovoltaïques, le concept de multi-jonctions réalisées sur substrat de silicium prend aujourd'hui tout son intérêt par rapport aux technologies à base de composés III-V [1,2]. L'objectif de cette étude est l'analyse théorique et l'optimisation des performances de cellules solaires de type tandem à base de pérovskites [3] sur substrat de silicium par simulation numérique. La figure 1 représente la structure type d'une telle cellule, constituée d'une première sous-cellule ou « top-cell » dont la couche absorbante est l'alliage $CH_3NH_3Pb(I_3)_{(1-x)}(Br_3)_x$ et d'une seconde sous-cellule ou « bottom-cell » en silicium monocristallin. L'interconnexion électrique entre ces deux cellules est réalisée par une jonction tunnel en silicium. La simulation numérique du fonctionnement global de la cellule sous éclairement en régime continu est effectuée à l'aide du logiciel Silvaco qui permet de résoudre l'équation de Poisson couplée aux équations de continuité incluant l'effet de centres recombinants et de prendre en compte l'effet tunnel. Les principaux paramètres envisagés pour l'optimisation de la structure sont l'épaisseur et la largeur de bande interdite de la couche absorbante pérovskite qui dépend de la concentration x de brome. Le figure 2 l'illustre en montrant le schéma de bandes de la structure à l'équilibre thermodynamique. La figure 3 montre la variation théorique du courant de court-circuit J_{sc}, de la tension de circuit ouvert V_{oc}, et de l'efficacité E_{ff} de la cellule sous éclairement AM1.5. La simulation montre d'une part qu'un dopage de 5.10^{19} $cm^{-}3$ au niveau des régions n et p de la jonction tunnel est suffisant pour assurer une bonne connexion électrique entre les deux sous-cellules. Et elle montre surtout qu'en partant d'une sous-cellule de silicium d'une efficacité égale à 17,3%, un optimum d'efficacité de 27% pour la cellule tandem peut être obtenu avec une concentration de brome de 20% dans la couche absorbante, correspondant à une largeur de bande interdite de 1,7 eV, et une épaisseur comprise entre 300 et 400 nm.

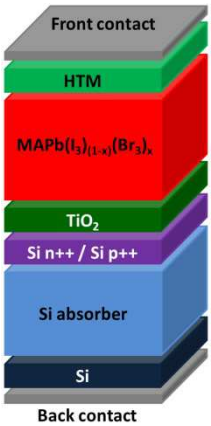

Fig .1 :
Schéma de la structure

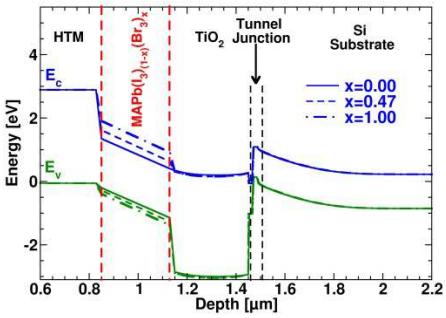

Fig.2 :
Schéma de bandes à l'équilibre Thermodynamique

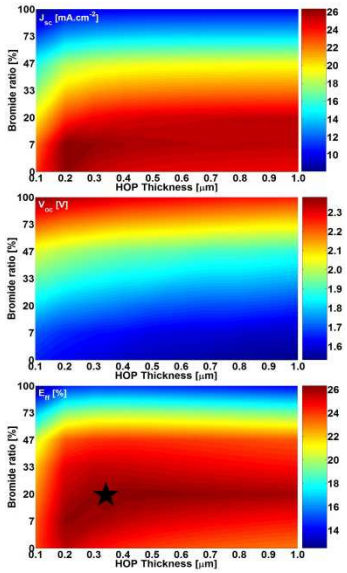

Fig.3 :
Variations de J_{sc}, V_{oc} et E_{ff} en fonction de l'épaisseur de l'absorbeur et de la concentration de Br

[1] P. Loper, B. Niesen, S.-J. Moon, S. Martin de Nicolas, J. Holovsky, Z. Remes, et al., Organic-Inorganic Halide Perovskites: Perspectives for Silicon-Based Tandem Solar Cells, IEEE J. Photovolt. 4 (2014) 1545–1551.

[2] A. Rolland, L. Pedesseau, J. Even, S. Almosni, C. Robert, C. Cornet, et al., Design of a lattice-matched III–V–N/Si photovoltaic tandem cell monolithically integrated on silicon substrate, Opt. Quantum Electron. 46 (2014) 1397–1403.

[3] J Even, L Pedesseau, JM Jancu, C Katan,Importance of spin–orbit coupling in hybrid organic/inorganic perovskites for photovoltaic applications, The Journal of Physical Chemistry Letters 4 (17), 2999-3005 2013.