Conception de structures nanophotoniques multirésonantes pour les cellules photovoltaïques à porteurs chauds

Julie Goffard[1,2], Maxime Giteau[1,2], Nicolas VANDAMME[1,2], Jean-François GUILLEMOLES[1,3,4], Stéphane COLLIN[2]

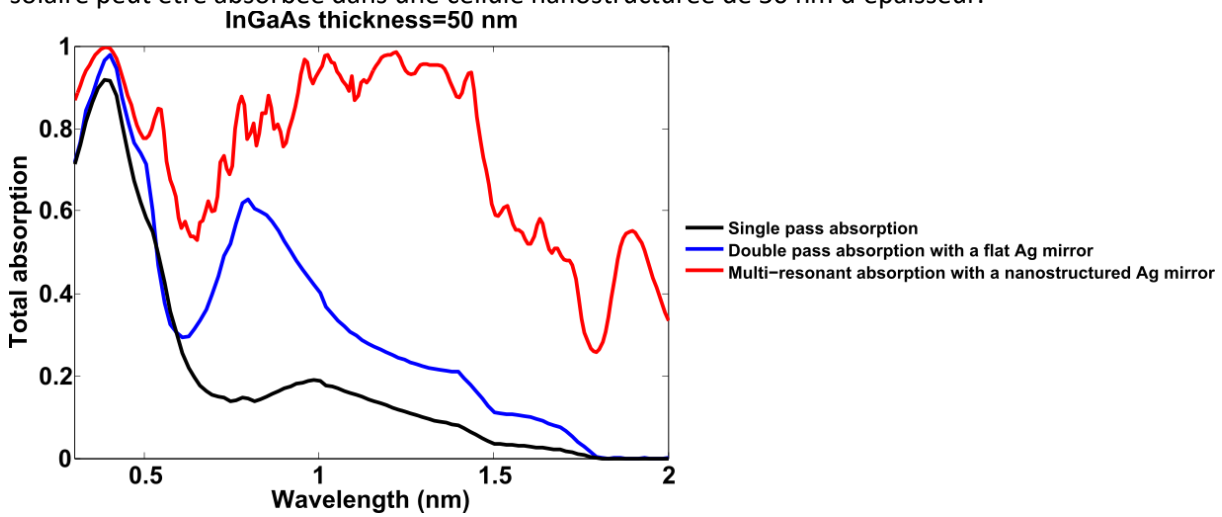
1. Institut Photovoltaïque d'Ile-de-France (IPVF) – 8, rue de la Renaissance, 92160 ANTONY
2. Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N), CNRS, Univ. Paris Sud, Univ. Paris Saclay, 91460 MARCOUSSIS
3. Institut de Recherche et Développement sur l'Energie Photovoltaïque (IRDEP-EDF/CNRS/Chimie ParisTech) – 6, quai Watier, 78400 CHATOU
4. LIA NextPV (CNRS-RCAST University of Tokyo) – 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8904, Japan

Mots-clefs : Nanophotonique, porteurs-chauds, cellules ultrafines, piégeage optique, absorption multi-résonante

Le rendement de conversion des cellules à simple-jonction est limité à 33% (limite de Shockley-Queisser), en raison de l'inadéquation entre l'énergie des photons incidents et celle du gap du semiconducteur qui induit des pertes spectrales. En particulier, les électrons photo-excités par des photons très énergétiques se thermalisent en quelques picosecondes avec le réseau. En récupérant les porteurs avant leur thermalisation, le rendement théorique maximal des cellules à porteurs chauds atteint 86%.

Une des pistes pour collecter les porteurs avant leur thermalisation est l'utilisation d'absorbeurs ultra-minces. Dans ceux-ci les porteurs n'ont que quelques dizaines de nanomètres à parcourir dans leur état excité jusqu'aux contacts[1]. Cependant une très faible partie de la lumière incidente est absorbée dans de si faible épaisseur (<100 nm). Il est donc nécessaire de mettre en place des stratégies de piégeage optique et de confiner la lumière dans des volumes nanométriques pour pouvoir utiliser ces couches efficacement. Dans des travaux précédents, il a été montré que l'utilisation d'un miroir métallique nanostructuré en face arrière d'un absorbeur en InGaAs de 50 nm d'épaisseur permet de profiter de multiples mécanismes de résonance qui aboutissent à la formation d'un spectre multi-résonant large bande. Ces calculs ont montré que 60% de la puissance incidente du spectre solaire est absorbée dans la cellule nanostructurée.

Pour aller plus loin, nous montrons ici qu'en brisant les symétries des nanostructures photoniques selon les axes x et y, il est possible de lever la dégénérescence de certains modes et ainsi d'améliorer le recouvrement spectral entre la gamme d'absorption de l'InGaAs et la position des modes résonants dans l'absorbeur. Nos calculs montrent que 78% de la puissance incidente du spectre solaire peut être absorbée dans une cellule nanostructurée de 50 nm d'épaisseur.



[1] Bris et al., "Thermalisation Rate Study of GaSb-Based Heterostructures by Continuous Wave Photoluminescence and Their Potential as Hot Carrier Solar Cell Absorbers."