

Equilibrage d'une cellule à bande intermédiaire à l'aide d'une barrière tunnel

Nicolas Cavassilas,¹ Daniel Suchet,² Amaury Delamarre,³ Jean-Francois Guillemoles,⁴ Fabienne Michelini,¹ Marc Bescond,⁵ and Michel Lannoo¹

¹Aix Marseille Université, CNRS, Université de Toulon, IM2NP UMR 7334, 13397, Marseille, France

²Ecole Polytechnique, IPVF, Institut Photovoltaïque d'Ile-de-France, 30 RD 128, 91120 Palaiseau, France

³Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies, Palaiseau, Ile-de-France, France

⁴IPVF, Institut Photovoltaïque d'Ile-de-France, 30 RD 128, 91120 Palaiseau, France

⁵LIMMS, CNRS-Institute of Industrial Science, UMI 2820, University of Tokyo, 153-8505 Tokyo, Japan

Les cellules à bande intermédiaire sont l'un des trois concepts dits haut-rendement avec les cellules à porteurs chauds et les cellules à multi-jonctions. Pourtant, au même titre que les porteurs chauds, aucune démonstration expérimentale du concept de la bande intermédiaire a pour l'instant été faite. Conceptuellement, la bande intermédiaire se place dans la bande interdite et permet d'absorber des photons ayant une énergie inférieure à celle de la bande interdite du matériau. En augmentant le courant (I_{sc}) sans réduire la bande interdite, et donc sans réduire la tension (V_{oc}), l'idée est d'augmenter le rendement voire même de dépasser la limite de Shockley-Queisser.

Néanmoins, expérimentalement, il est très difficile d'augmenter I_{sc} sans que le V_{oc} ne soit dégradée. En effet, dans les cellules dont la bande intermédiaire est formée par des états de conduction de boîtes quantiques, les recombinaisons non radiatives entre la bande de conduction et la bande intermédiaire font que ces deux éléments sont à l'équilibre thermodynamique. En conséquence, V_{oc} est contrôlé par la position de la bande intermédiaire et non pas par la bande de conduction. L'inclusion de cette bande intermédiaire revint alors à simplement réduire la bande interdite de la cellule.

De nombreuses études montrent que l'utilisation d'un *ratchet*, en ajoutant un degré de liberté dans la conception d'une cellule à bande intermédiaire, permet de concevoir un système efficace malgré des recombinaisons non radiatives importantes. Ici, en complément, nous montrons théoriquement que la transition intra-bande entre les boîtes quantiques et la bande de conduction de la cellule doit être contrôlée par une barrière tunnel. Nous montrons, que sans cette barrière, il est difficile d'éviter une importante dégradation du V_{oc} . En revanche, si cette barrière est bien calibrée et placée entre les boîtes et le contact de conduction, comme on peut le voir sur la figure 1, elle est source d'une forte augmentation de la puissance.

Pour cela, basé sur le formalisme des fonctions de Green, nous avons développé un modèle quantique analytique permettant de traiter les différents processus (radiatifs, non radiatifs, transport tunnel) qui interagissent les uns avec les autres dans cette transition intra-bande [1]. Ce modèle permet d'une part de comprendre comment une barrière tunnel peut équilibrer la transition intra-bande. Il permet d'autre part de designer la barrière tunnel optimale en fonction des principaux paramètres des matériaux considérés.

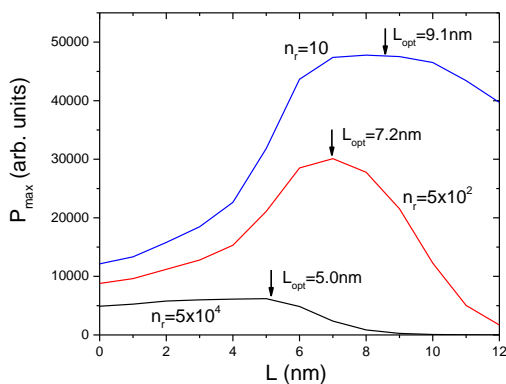


Figure 1 : Puissance électrique photo-générée par la transition intra-bande entre la bande intermédiaire et la bande de conduction, en fonction de l'épaisseur de la barrière tunnel séparant les boîtes quantiques (dont l'état fondamental constitue la bande intermédiaire) et le contact de conduction de la cellule. Cette caractéristique est représentée pour trois coefficients de non-radiativité n_r . Dans le cas presque radiatif ($n_r=10$), la puissance varie beaucoup avec l'épaisseur de cette barrière tunnel alors que dans le cas fortement non-radiatif ($n_r=5 \cdot 10^4$), l'impact de cette barrière est bien plus faible.

[1] N. Cavassilas, D. Suchet, A. Delamarre, J.-F. Guillemoles, M. Bescond, F. Michelini, M. Lannoo, "Optimized operation of quantum-dot intermediate-band solar cells deduced from electronic-transport modeling," Phys. Rev. Applied, 13 (14), 044035, 2020.