

RÔLE ET LIMITATIONS DE LA PLASMONIQUE pour le photovoltaïque solaire

Stéphane COLLIN

Andrea CATTONI

C2N-CNRS, Marcoussis, France

stephane.collin@c2n.upsaclay.fr

À la fin des années 2000, la plasmonique a connu un engouement considérable au sein de la communauté photovoltaïque (PV) : le confinement de la lumière à l'échelle nanométrique devait offrir de nouveaux degrés de liberté dans la conception des cellules solaires, avec l'espoir de diminuer les coûts et d'augmenter les rendements des cellules solaires. Petit bilan après une décennie de recherches intensives.

Le fonctionnement des cellules solaires peut être résumé en trois étapes : absorption de la lumière solaire dans un semiconducteur et création de paires électrons-trous (énergie des photons supérieure à la bande interdite), thermalisation des porteurs de charge (dissipation de l'énergie cinétique), séparation et collection des charges à travers les contacts sélectifs (jonctions pn ou hétérostructures). Sous un éclairage solaire normalisé, le rendement de conversion maximal théorique est de 33 % pour une simple jonction. Dans la pratique, le record est de 28,8 % avec 1–2 μm de GaAs, 26,7 % avec 150 μm de silicium, et autour de 23 % pour les cellules à film mince composé de 2–3 μm de Cu(In,Ga)Se₂ ou CdTe.

La promesse de la plasmonique est d'améliorer l'absorption et de diminuer considérablement l'épaisseur des cellules solaires. L'économie de matériaux doit engendrer une diminution des temps d'élaboration et des coûts de fabrication. La diminution de l'épaisseur ouvre également des perspectives pour améliorer le rendement des cellules solaires et dépasser la barre des 33 %, en mettant en jeu des mécanismes complexes actuellement à l'étude : collection de porteurs chauds pour éviter les pertes par thermalisation des porteurs, absorption à faible énergie grâce à des niveaux intermédiaires dans la bande interdite.

Mais les défis à relever sont nombreux : l'absorption doit être efficace sur une très large gamme spectrale (le visible et le proche infrarouge), et les pertes par absorption parasite dans le métal doivent rester marginales pour préserver l'efficacité des cellules. Une première

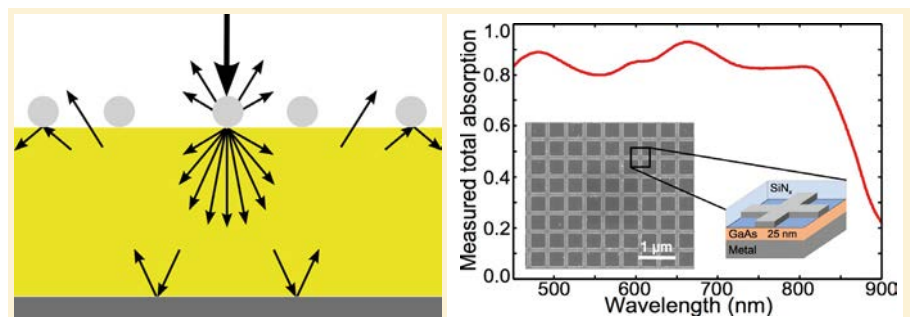


Figure 1. Des nanoparticules métalliques ont été utilisées pour diffuser et piéger la lumière dans des couches de silicium de quelques dizaines de μm d'épaisseur. Avec une couche de semiconducteur de GaAs de seulement 25 nm d'épaisseur insérée entre un miroir plan et une nano-grille, l'absorption est supérieure à 80 % sur tout le spectre visible. Dans les deux cas, l'absorption parasite dans le métal reste trop élevée pour les applications photovoltaïques.

approche consistant à utiliser des nanoparticules métalliques pour concentrer et diffuser la lumière dans des couches semiconductrices très fines a été rapidement abandonnée : l'effet est faible, et les pertes parasites dans les particules sont rédhibitoires. Une seconde approche vise à utiliser l'absorption parfaite de la lumière dans un résonateur plasmonique de très petite dimension, qui est bien établie, puis à rendre les structures multi-résonantes pour élargir la gamme spectrale. Il est ainsi possible d'absorber 80 % de la lumière incidente du spectre visible dans seulement 25 nm de GaAs [2]. Mais les pertes parasites sont encore trop importantes avec les matériaux utilisés actuellement (métaux nobles).

Une des conclusions actuelles, très positive, est que la plasmonique permet en effet

d'absorber efficacement la lumière dans un volume de très faible dimension (voir *figure 1*). Mais deux autres conclusions, plus nuancées, sont que l'échelle nanométrique ne semble pas adaptée à la conception d'une cellule solaire, et que les pertes parasites dans le métal semblent rédhibitoires.

Aujourd'hui, la recherche sur les cellules solaires ultrafines reste très active. Les effets plasmoniques sont évités, mais la nanophotonique est très présente dans les travaux en cours pour piéger la lumière dans des couches planaires nanostructurées ou dans des nanofils. Des cellules solaires de seulement quelques centaines de nanomètres d'épaisseur voient le jour avec des rendements approchant le seuil des 20 % : de toute évidence, la nanophotonique a encore beaucoup à apporter au photovoltaïque !

POUR EN SAVOIR PLUS

[1] H.A. Atwater, A. Polman, Plasmonics for improved photovoltaic devices, *Nature Materials* **9**, 205 (2010)

[2] I. Massiot *et al.*, Metal nanogrid for broadband multiresonant light-harvesting in ultrathin GaAs layers, *ACS Photonics* **1**, 878 (2014)