HAL
open science

Interface photothermique à base de nano-antennes thermoplasmoniques pour la cogénération photovoltaïque-thermoélectrique

Sébastien Hanauer, Adnen Mlayah, Franck Carcenac, Jean Baptiste Doucet, Emmanuelle Daran, Ihar Faniayeu, Alexander Dmitriev, Inès Massiot

To cite this version:

Sébastien Hanauer, Adnen Mlayah, Franck Carcenac, Jean Baptiste Doucet, Emmanuelle Daran, et al.. Interface photothermique à base de nano-antennes thermoplasmoniques pour la cogénération photovoltaïque-thermoélectrique. OPTIQUE Nice 2022, Jul 2022, Nice, France. hal-03756678v2

HAL Id: hal-03756678

https://laas.hal.science/hal-03756678v2

Submitted on 13 Sep 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Interface photothermique à base de nano-antennes thermoplasmoniques pour la cogénération photovoltaïque-thermoélectrique

Sébastien HANAUER[1], Adnen Mlayah[1,2], Franck Carcenac[1], Jean-Baptiste Doucet[1], Emmanuelle Daran[1], Ihar Faniayeu[3], Alexander Dmitriev[3], Inès Massiot[1]

[1] *LAAS-CNRS, Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes, 31400 Toulouse, France*
[2] *CEMES - Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales, 31055 Toulouse, France*
[3] *Department of Physics, University of Gothenburg, 41296 Göteborg, Sweden*

shanauer@laas.fr

RESUME

L'objectif du travail présenté ici est de développer une interface photothermique, composée de nano-antennes capables d'absorber le rayonnement solaire infrarouge pour le convertir en chaleur. Cette interface a vocation à être intégrée au sein de dispositifs de cogénération photovoltaïque-thermoélectrique, afin d'en augmenter l'efficacité.

MOTS-CLEFS : *nano-antenne ; absorbeur ; photothermique ; système*

1. CONTEXTE ET MOTIVATIONS

Alors que le rendement énergétique des cellules photovoltaïques (PV) mono-jonction atteint les 30 % [1], les limitations intrinsèques de ces dispositifs rendent leur amélioration de plus en plus difficile. En effet, ces cellules sont incapables d'absorber les photons dont l'énergie est trop faible pour en franchir la bande interdite, tandis que les photons de haute énergie sont en partie thermalisés, ce qui a pour effet d'augmenter la température de la cellule et de réduire son efficacité. Pour pallier ces limitations, il est possible d'adjoindre un générateur thermoélectrique (TEG) à la cellule photovoltaïque afin de tirer profit de l'excédent de chaleur [2,3,4]. Cependant, même dans ce cas, les photons de basse énergie non absorbés par la cellule PV ne sont pas utilisés, alors qu'ils représentent 35% de l'énergie solaire disponible pour une cellule GaAs. Ainsi, afin de maximiser le rendement de dispositifs PV-TE, une approche consiste à ajouter une interface photothermique à haute absorption infrarouge entre la cellule PV et le TEG, afin de convertir les photons non absorbés par la cellule en chaleur pouvant être exploitée par le TEG [5,6,7].

2. CONCEPTION ET FABRICATION D'UNE INTERFACE PHOTOTHERMIQUE NANOSTRUCTUREE

Ce travail se concentre sur la conception d'une interface photothermique à base de nano-antennes thermoplasmoniques capables d'absorber le rayonnement solaire infrarouge pour le convertir en chaleur, avec pour visée d'intégrer cette interface au sein de dispositifs de cogénération PV-TE incluant une cellule solaire GaAs. Afin de remplir son rôle de façon optimale, cette interface doit posséder une haute absorption optique dans le domaine 0.875 – 2.5 µm, ainsi qu'une bonne conversion photothermique. Il est également nécessaire qu'elle soit électriquement isolante mais thermiquement conductrice, afin de favoriser l'extraction de chaleur de la cellule PV vers le TEG.

Nous présenterons les résultats de simulations numériques menées par la méthode DDA (Approximation dipolaire discrète) sur des nano-antennes isolées pour étudier l'impact de la composition, de la géométrie et des dimensions des nano-antennes sur leurs propriétés optiques. Nous montrerons comment, en les comparant au spectre solaire infrarouge, ces

résultats permettent d'identifier les structures les plus favorables vis-à-vis de l'application visée. Nous présenterons également les caractéristiques expérimentales de démonstrateurs d'interfaces photothermiques basées sur les nano-antennes précédemment sélectionnées.

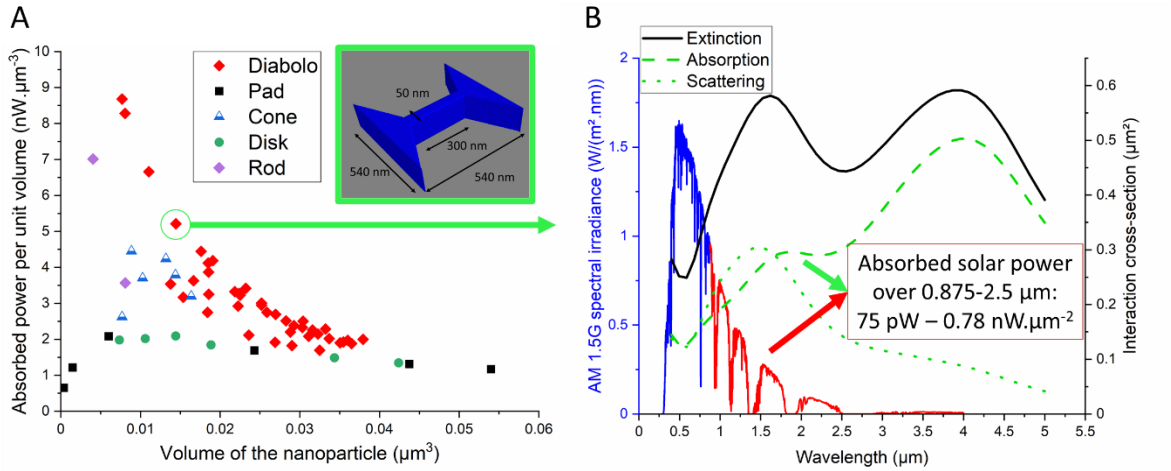

Figure 1 : (A) Absorption solaire calculée sur la gamme 0,875-2,5 µm pour des nano-antennes en nickel de différentes formes. La structure encadrée représente le diabolo correspondant au point entouré. (B) Sections efficaces d'interaction calculées pour le diabolo encadré et spectre solaire AM 1.5G au-dessus (bleu) et en-dessous (rouge) de l'énergie de la bande interdite d'une cellule GaAs.

Ainsi, nous montrerons comment les études numériques et expérimentales réalisées permettent d'ouvrir la voie vers l'intégration de nano-antennes thermoplasmoniques au sein de dispositifs de cogénération PV-TE. Nous discuterons en particulier de la prise en compte des effets collectifs et de l'influence du degré de désordre de l'arrangement de nano-antennes, ainsi que de l'impact du substrat et de l'encapsulation des structures.

Ces travaux ont été soutenus par la plateforme technologique du LAAS-CNRS, membre du réseau RENATECH, ainsi que par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), sous la référence ANR-21-CE50-0003 (projet HYDRES).

---

[1]NREL, "NREL best research-cell efficiencies chart", http://nrel.gov, 2022.

[2]B. Lorenzi, M. Acciarri and D. Narducci, "Analysis of Thermal Losses for a Variety of Single-Junction Photovoltaic Cells: An Interesting Means of Thermoelectric Heat Recovery", J. El. Mat., Vol. 44, No. 6, 1809 1813, 2014.

[3]B. Lorenzi, P. Mariani, A. Reale, A. Di Carlo, G. Chen and D. Narducci, "Practical development of efficient thermoelectric – Photovoltaic hybrid systems based on wide-gap solar cells", Applied Energy, Vol. 300, 117343, 2021.

[4]G. Contento, B. Lorenzi, A. Rizzo and D. Narducci, "Efficiency enhancement of a-Si and CZTS solar cells using different thermoelectric hybridization strategies", Energy, Vol. 131, 230-238, 2017.

[5]T. Park, J. Na, B. Kim, Y. Kim, H. Shin and E. Kim, "Photothermally Activated Pyroelectric Polymer Films for Harvesting of Solar Heat with a Hybrid Energy Cell Structure", ACS Nano, Vol. 9, No. 12, 11830-11839, 2015.

[6]Y. J. Kim, H. Choi, C. S. Kim, G. Lee, S. Kim, J. Park, S. E. Park and B. J. Cho, "High-Performance Monolithic Photovoltaic–Thermoelectric Hybrid Power Generator Using an Exothermic Reactive Interlayer", ACS Appl. Energy Mater., Vol. 2, No. 4, 2381-2386, 2019.

[7]Y. Park, K. Cho, S. Yang, T. Park, S. Park, H. Song, S. M. Kim and S. Kim, "Performance of Hybrid Energy Devices Consisting of Photovoltaic Cells and Thermoelectric Generators", ACS Appl. Mater. & Interfaces, Vol. 12, No 7, 8124-8129, 2020.