

Photovoltaïque à haute performance par l'assemblage de microstructures épaisses à base de nanoparticules

Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets (LPCNO-UMR 5215 INSA-CNRS-UPS) @ Toulouse

- Thèse dans le domaine des nanotechnologies
- Durée : 3 ans
- Lieu : Toulouse (France), sur le campus INSA

Mots clés : Nanoparticules, quantum dots, assemblage dirigé, microfabrication, photovoltaïque

Contexte scientifique

Face à l'urgence climatique, l'amélioration des performances des technologies photovoltaïques est un enjeu majeur de la transition énergétique. Aujourd'hui, les panneaux solaires à base de silicium plafonnent à des rendements d'environ 20 %, en grande partie à cause d'un décalage fondamental entre le spectre solaire incident et la capacité d'absorption du silicium.

Une voie prometteuse pour contourner cette limite consiste à intégrer des **couches de conversion de lumière** capables de transformer les photons solaires en longueurs d'onde mieux adaptées au silicium. Ces couches reposent sur des nanoparticules photoluminescentes (quantum dots), capables d'absorber et de réémettre la lumière de manière contrôlée.

Cependant, les approches actuelles restent limitées par :

- la nécessité de couches épaisses (1–2 μm) pour une absorption efficace,
- des défis de structuration à l'échelle micro/nano,
- des contraintes fortes liées à l'utilisation de solvants apolaires, peu compatibles avec les techniques de dépôt conventionnelles.

Dans ce contexte, notre équipe a récemment développé et breveté [1-2] une **méthode innovante d'auto-assemblage dirigé** basée sur le *Convective Self-Assembly (CSA)* couplé à des substrats microstructurés fonctionnalisés (Fig.1a). Cette approche permet de former des architectures 3D organisées de nanoparticules, ouvrant la voie à une nouvelle génération de couches de conversion optique (Fig. 1b).

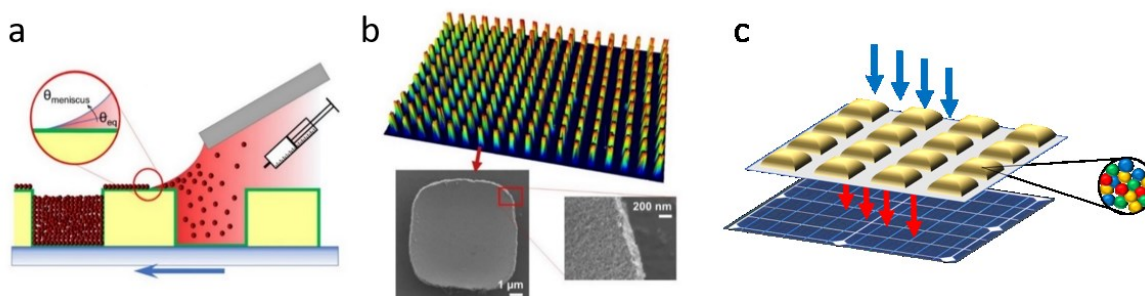


Figure 1 : a) principe de fonctionnement du Convective Self-Assembly sur des motifs topographiques fonctionnalisés et avec injection de solvant, adapté pour l'utilisation avec les solvants apolaires ; b) exemple d'assemblage de nanoparticules (quantum dots de CdSe, 10 nm de diamètre) sous forme de matrice de microstructures épaisses (motifs carrés, épaisseur 1,5 μm , taille latérale 10 μm , espacement 10 μm) [2] ; schéma de principe d'une couche de conversion de lumière microstructurée à base de différents type de nanoparticules

Objectifs de la thèse

L'objectif de cette thèse est de concevoir et fabriquer des **films de conversion de lumière microstructurés en 3D**, intégrant différentes populations de quantum dots afin de couvrir efficacement l'ensemble du spectre solaire (Fig.1c).

Pour atteindre cet objectif, le projet s'articulera autour de trois axes majeurs :

- **Développement instrumental** : mise au point d'un dispositif expérimental avancé pour le dépôt par CSA en solvants apolaires ;
- **Design des architectures** : optimisation des géométries de microstructures pour maximiser l'absorption et la conversion lumineuse ;
- **Assemblage multi-matériaux** : élaboration de stratégies permettant l'organisation contrôlée de plusieurs types de nanoparticules au sein d'une même structure.

Approche expérimentale

Ce travail de thèse sera principalement expérimental et se déroulera en environnement de salle blanche. Il combinera :

- **Fabrication** : dépôt de quantum dots par auto-assemblage convectif sur substrats microstructurés (photolithographie) ;
- **Caractérisation avancée** : microscopie à fluorescence, interférométrie optique, microscopie à force atomique (AFM), microscopie électronique à balayage (MEB) ;
- **Évaluation des performances** : analyse des propriétés optiques et de conversion des structures obtenues.

L'ensemble des équipements nécessaires est disponible au laboratoire.

Profil recherché

- Diplôme : M2 ou école d'ingénieur
- Spécialité : Physique, nanosciences, nanotechnologies
- Qualités : curiosité scientifique et esprit d'initiative, autonomie et rigueur expérimentale, goût pour le travail en environnement technologique avancé
- Anglais : bon niveau requis (écrit et oral)

Pourquoi ce sujet ?

- Un projet à **fort impact sociétal**, au cœur des enjeux énergétiques actuels
- Une approche à **la frontière entre physique, nanosciences et ingénierie**
- L'opportunité de travailler sur une **technologie émergente brevetée**
- Un environnement expérimental riche et multidisciplinaire

Financement

La thèse est financée par les « Allocations Doctorales sur Enjeux Sociétaux » de l'INSA Toulouse.

Contacts :

Giuseppe BONIELLO (Maître de Conférences à l'INSA Toulouse), boniello@insa-toulouse.fr

Laurence RESSIER (Professeur à l'INSA Toulouse), ressier@insa-toulouse.fr

Références bibliographiques

[1] Boniello and Ressler, FR2500658, 2025

[2] Boniello *et al.*, *JCIS*, 2025