INSTITUT PASCAL – Axe Photon - Equipe Surface

Directeur de thèse : Luc Bideux (Pr), luc.bideux@uca.fr
Co-encadrant : Guillaume Monier (IR), guillaume.monier@uca.fr

Titre du sujet de thèse : Fonctionnalisation de surfaces nano-structurées de semi-conducteurs III-V pour la conversion d'énergie.

Résumé du sujet de thèse :
Les technologies de conversion de l'énergie photovoltaïque progressent en termes d'efficacité et de coût pour concurrencer les combustibles fossiles. Cependant, le développement des centrales solaires à grande échelle pose des défis liés au stockage et au transport de l'énergie produite. La dissociation de l'eau par l'énergie solaire, inspirée de la photosynthèse, représente une approche prometteuse pour la production d'hydrogène. En effet, dans ces cellules photoélectrochimiques, des photoélectrodes semi-conductrices sont utilisées pour réaliser la réaction cathodique de l'hydrogène et la réaction anodique de l'oxygène à partir des deux ressources les plus abondantes : le soleil et l'eau [1]. Les semi-conducteurs III-V sont particulièrement intéressants pour cette application en raison de leurs propriétés favorables (absorption lumineuse importante, mobilité accrue des porteurs de charge et transferts de charge efficaces vers l'électrolyte). Toutefois, leur coût élevé et leur corrosion rapide en milieux électrochimiques limitent leur utilisation [2].

Le sujet proposé vise à exploiter l'arséniure de gallium (GaAs), le phosphure de gallium (GaP) et le nitrure de gallium (GaN) en utilisant les avantages du bombardement ionique comme outil efficace pour la nanostructuration et la fonctionnalisation de surface. En effet, le bombardement par clusters d'ions est une technique efficace pour modifier les propriétés de surface des semi-conducteurs III-V. Cette méthode permet de nettoyer les surfaces en éliminant les contaminants et les oxydes, tout en préservant la structure cristalline sous-jacente. De plus, elle peut induire des modifications contrôlées de la composition chimique de la surface, influençant ainsi des propriétés essentielles telles que l'énergie de bande interdite et la mobilité des porteurs de charge. De plus, le bombardement par clusters d'ions permet également la création de nanostructures auto-organisées sur les surfaces des semi-conducteurs III-V. Ainsi, en contrôlant précisément les paramètres d'irradiation, tels que l'énergie des ions, l'angle d'incidence, la fluence et la taille des clusters, il est possible de fabriquer des nanostructures aux dimensions et formes spécifiques, ouvrant une voie possible dans l'amélioration des performances de ces matériaux.
Dans un premier temps, l'impact du bombardement ionique par cluster sur les surfaces semi-conductrices sera analysé, notamment en termes de structuration et de fonctionnalisation des surfaces. L'objectif principal sera d'acquérir une compréhension et un contrôle des modifications induites et/ou des nouvelles propriétés physico-chimiques (comportement électrochimique et optoélectronique, cristallographie). Pour cela, des caractérisations in situ par spectroscopies électroniques telles que l'XPS pour l'analyse chimique des modifications de la surface et par UPS (ARPES) pour étudier le changement induit dans les bandes de valence (énergie, alignement, travail de sortie) seront menées. Ces résultats seront complétés par des études ex situ de microscopie ainsi que des mesures électriques et optiques.
Dans un second temps, les structures obtenues seront stabilisées chimiquement par traitement par plasma d'azote. En effet, ce traitement est connu pour générer une couche supérieure nitrurée électriquement transparente ayant une bonne stabilité en solution corrosive. Ces modifications contrôlées permettront d'optimiser l'utilisation des structures électroniques développées comme photo-anodes efficaces. Des tests chimiques et/ou électro-chimiques seront menés afin de déterminer leur stabilité ainsi que leurs performances.

[1] M. Grätzel, Photoelectrochemical cells, Nature. 414 (2001) 338–344. https://doi.org/10.1038/35104607.

[2] Mekan Piriyev et al., Dual bandgap operation of a GaAs/Si photoelectrode, Solar Energy Materials and Solar Cells. 251 (2023) 112138. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.112138