

# THESE DE DOCTORAT DE

## L'UNIVERSITE DE NANTES

Ecole Doctorale n° 596

Matière Molécules et Matériaux

&

## L'UNIVERSITE ABDELMALEK ESSAADI

Centre doctorale des Sciences et Techniques de l'ingénieur

Spécialité : « Physique des matériaux »

Par

**Hajar FTOUHI**

**Amélioration des performances des cellules photovoltaïques organiques à hétérojonction planaire binaires et ternaires via la réalisation et la caractérisation des couches tampons hybrides :  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  et  $\text{MoO}_3/\text{CuI}$**

Thèse présentée et soutenue au Maroc, à la faculté des sciences et techniques de Tanger, le .. Février 2022

Unités de recherches : Institut des matériaux Jean Rouxel, Nantes, France (UMR 6502)

Equipe de recherche couches minces et nanomatériaux, FST, Tanger, Maroc

Thèse N° :

### Rapporteurs avant soutenance :

Bouchta SAHRAOUI Professeur des universités, MOLTECH Anjou, Université d'Angers, France  
Yamina MIR Professeur des universités, Université Hassan II, Maroc

### Composition du Jury :

Président :

|                         |                  |  |
|-------------------------|------------------|--|
| Examineurs :            | Bouchta SAHRAOUI | Professeur des universités, MOLTECH Anjou, Université d'Angers, France |
|                         | Mustapha DIANI   | Professeur des universités, Université Abdelmalek Essaadi, FSTT, Maroc |
|                         | Yamina MIR       | Professeur des universités, Université Hassan II, Maroc                |
|                         | Guy LOUARN       | Professeur des universités, Université de Nantes, IMN, France          |
| Directeur de thèse :    | Linda CATTIN     | Maître de Conférence HDR, Université de Nantes, IMN, France            |
| Co-directeur de thèse : | Mohammed ADDOU   | Professeur des universités, Université Abdelmalek Essaadi, FSTT, Maroc |

Invité : Jean-Christian Bernède Ingénieur de recherche et docteur d'Etat, Université de Nantes, France

**Titre :** Amélioration des performances des cellules photovoltaïques organiques à hétérojonction planaire binaires et ternaires via la réalisation et la caractérisation des couches tampons hybrides :  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  et  $\text{MoO}_3/\text{CuI}$

**Mots clés :** cellules photovoltaïques organiques, couche tampon anodique hybride, disulfure de molybdène, tri-oxyde de molybdène, iodure de cuivre, petites molécules.

**Résumé :** Le présent travail de thèse consiste à améliorer les performances des cellules photovoltaïques organiques à base de l'hétérojonction planaire : Alpha-Sexithiophene ( $\alpha$ -6T)/Fullerène( $\text{C}_{60}$ ) via l'utilisation des couches tampons anodiques hybrides  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  et  $\text{MoO}_3/\text{CuI}$ . La problématique principale de ce travail de thèse était la synthèse des couches tampons hybride  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  à une température relativement basse ( $< 300^\circ\text{C}$ ) pour éviter la dégradation des matériaux constituant la cellule. A ce propos, nous avons proposé dans cette étude de synthétiser les couche hybride  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  en utilisant une technique originale de sulfuration dite "RTA-CVD" d'un film mince de  $\text{MoO}_3$ . Les résultats de l'analyse par XPS ont montré qu'il est possible d'obtenir des films hybride de  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  par un traitement thermique à  $220^\circ\text{C}$  pendant 5 min.

L'application des couches  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  dans les cellules montre une amélioration en performances.

Le deuxième volet de cette thèse était l'étude de l'effet de la couche tampons  $\text{MoO}_3/\text{CuI}$  sur les performances de la cellule  $\alpha$ -6T/ $\text{C}_{60}$ . Les résultats ont montré que la double couche tampon anodique  $\text{MoO}_3/\text{CuI}$  (1.5 nm) permet d'obtenir une amélioration considérable dans les performances des cellules. Ceci a été expliqué via différentes caractérisations de la couche de  $\alpha$ -6T. A fin de mieux améliorer le rendement de la cellule  $\alpha$ -6T/ $\text{C}_{60}$  nous avons opté pour la « stratégie ternaire » en utilisant une troisième couche active de l'AlPcCl pour élargir le domaine de l'absorption de la cellule. Les résultats obtenus montrent une amélioration significative de rendement de ces cellules par rapport aux cellules binaires étudiées.

---

**Title :** Improving the performance of binary and ternary planar organic photovoltaic solar cells through the synthesis and the characterization of hybrid buffer layers:  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  and  $\text{MoO}_3/\text{CuI}$

**Keywords :** Organic photovoltaic solar cells, hybrid anode buffer layer, Molybdenum disulfide, molybdenum oxide, copper iodide, small molecules.

**Abstract :** The present thesis work consists of improving the performances of organic photovoltaic solar cells based on planar heterojunction: Alpha-Sexithiophene ( $\alpha$ -6T)/Fullerene( $\text{C}_{60}$ ) by using hybrid anode buffers layers  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  and  $\text{MoO}_3/\text{CuI}$ . The main problem of this thesis work was the synthesis of the  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  hybrid buffer layers at a relatively low temperature ( $< 300^\circ\text{C}$ ) to prevent the degradation of the materials constituting the cell. In this regard, we have proposed in this study to synthesize the hybrid layer  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  using an original sulfuration technique called "RTA-CVD" of a thin film of  $\text{MoO}_3$ . The XPS results analysis showed that it is possible to obtain hybrid films of  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  by a heat treatment at  $220^\circ\text{C}$  for 5 min. The insertion of the hybride layers :  $\text{MoO}_3:\text{MoS}_2$  in the cells shows an improvement in their performances.

The second part of this thesis was the study of the effect of the  $\text{MoO}_3/\text{CuI}$  anode buffer layer on the performances of the solar celles based on the hetejojunction  $\alpha$ -6T/ $\text{C}_{60}$ . The results showed that the double anodic buffer layer  $\text{MoO}_3/\text{CuI}$  (1.5 nm) provides a considerable improvement in cells performances. This has been explained through different characterizations of the  $\alpha$ -6T layer. In order to improve more the performances of this cell, we opted for the «ternary strategy» by using a third active layer of the AlPcCl to widen the absorption domain of the cell. The results show a significant improvement in the the power conversion efficiency compared to the studied binary cells.