



Amélioration Des Interfaces Des Cellules Photovoltaïques Organiques Par L'introduction D'une Couche Métallique

Y.BERREDJEM ^{#1}, A.BOULMOKH ^{*2}, J.BERNEDE ^{#3}

^{#1}Département des sciences de la matière. Université de Souk-Ahras

¹Laboratoire des sciences et technologies des eaux et l'environnement (université de souk-ahras) Algérie

²Laboratoire de traitement des eaux et valorisation des déchets industriels (L.T.E). Département de Chimie, Faculté des Sciences, (université Badji-Mokhtar 23000 Annaba, Algérie.

³Laboratoire des matériaux photovoltaïques (LAMP) de Nantes, EA 3829, F-44000 France.

E-mail : y_berredjem@yahoo.fr

Abstract— Les études ont été faites sur les interfaces anode/matériau organique, l'introduction d'une ultra fine couche de métal (0.5nm) à l'interface, plus particulièrement d'or permet d'améliorer de façon spectaculaire les rendements des cellules photovoltaïques organiques. Il est montré que l'amélioration est inversement proportionnelle aux qualités initiales de l'oxyde transparent conducteur (OTC) utilisé comme anode. Une caractérisation systématique des anodes avec et sans or a été entreprise afin de donner une interprétation à cet effet spectaculaire lié à la fine couche d'or. En effet, de nombreuses techniques de caractérisations ont été utilisées, telles que la microscopie électronique à balayage, le microscope à effet de forces atomiques, la spectroscopie de photoélectrons, la transmission optique etc.

I. MOTS CLES : CELLULES SOLAIRES ORGANIQUES, INTERFACE ANODE/ ORGANIQUE, MEB, AFM OPTIMISATION.

II. INTRODUCTION

Des études ont montré que l'introduction de couches aux interfaces accepteur d'électrons / cathode, permettent d'améliorer fortement la performance des dispositifs ^[1,2]. Cependant, à l'interface anode / donneur d'électrons, plusieurs tentatives ont été faites et des expériences ont montré que la reproductibilité des résultats demande toujours une amélioration de l'interface de l'oxyde transparent conducteur (OTC). Ce dernier présente une chimie de surface difficile à contrôler ^[3]. Habituellement, une mince couche de poly(éthylène dioxythiophène) dopé avec du polystyrène d'acide sulfonique (PEDOT:PSS), est déposée sous forme de film sur l'ITO avant les dépôts organiques. L'insertion d'une couche de PEDOT:PSS entre l'anode d'ITO et la couche active joue un rôle de couche tampon tout en favorisant une meilleure collecte des charges (trous). Cette couche diminuerait la diffusion d'oxygène et d'indium vers la couche active organique et limite les porosités d'interface dues à la rugosité de surface de l'ITO. Toutefois, le PEDOT: PSS présente des inconvénients, il se dégrade sous l'éclairage UV, il introduit de l'eau dans la couche active, et il est légèrement

acide ^[4]. Il ne permet pas d'obtenir des résultats très reproductibles et n'est pas très stable dans le temps.

L'objectif de ce travail d'améliorer l'interface anode/matériaux organiques. Nous montrons que le dépôt de film ultra-mince d'or a permis d'avoir une bonne reproductibilité des dispositifs et une amélioration de leurs performances.

2. Résultats et discussion

La chimie de surface de l'oxyde d'indium et d'étain (ITO) est difficile à maîtriser et les modifications de la surface de l'anode ITO par des films de polymères conducteurs tels que PEDOT: PSS, ont été un succès dans l'optimisation des OLED et des technologies PV car ils permettent d'améliorer l'état de surface de l'ITO. Cependant, le PEDOT: PSS présente des inconvénients liés à sa constitution chimique et au processus de dépôt qui introduit des impuretés de la solution aqueuse. Par conséquent, il était intéressant de travailler sur d'autres modifications de l'anode ITO.

Ici, nous allons montrer que le film ultra-mince de l'or déposé sur l'anode ITO améliorerait le rendement des cellules solaires, n'est pas continu, ce qui exclut tout effet de séparation physique, et il est trop mince pour réduire la rugosité de l'ITO. De plus son efficacité est optimale lorsqu'il est suffisamment fin pour éviter d'importantes pertes de lumière (Figure). Les pentes au point du court-circuit et à la tension en circuit ouvert sont des valeurs inverses de la résistance shunt (Rsh) et de la résistance série (Rs) d'un schéma de circuit équivalent respectif de cellules solaires. L'estimation des valeurs de Rs et Rsh est présentée dans le tableau 1. Nous constatons que le film ultra-mince de l'or induit une forte diminution de Rs et une augmentation de Rsh, ce qui explique l'amélioration du rendement des cellules et ceci est d'autant plus vrai que l'ITO seul donne de mauvais résultats.

D'une manière générale, l'abaissement des valeurs Voc peut découler des trous, inhomogénéités à l'interface, qui court-circuitent les cellules photovoltaïques et diminuent la valeur de Rsh, tandis que la perte importante d'énergie



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



photovoltaïque (faible I_{cc} et FF) provient des valeurs élevées de R_s .

Lot	a		b	
	ITO	ITO/Au	ITO	ITO/Au
Anode	ITO	ITO/Au	ITO	ITO/Au
R_s (ohm)	245	120	5025	150
R_{sh} (ohm)	1920	39520	770	6390

Tableau 1 – Estimation des valeurs des résistances R_s et R_{sh} déduites des courbes de caractéristiques (I-V) mesurées sous illumination AM1.5 de 100 mW/cm^2 , pour une épaisseur de couche ultra-mince d'or de 0.5 nm.

3. Partie expérimentale

3.1 Mesures d'absorbance et morphologie de la structure ITO/Au

Dans tous les cas l'épaisseur des films de l'ITO était de l'ordre de 200 nm, et de résistance 15Ω par carré. L'ITO est un semi-conducteur dégénéré à large bande interdite et présente une forte transmission supérieure 90% dans le spectre visible (Figure 1). En fait, la transmission est importante dans la gamme $400 < \lambda < 1000 \text{ nm}$. Nous notons que la transmission de l'anode ITO /Au dans la région verte diminue lorsque l'épaisseur de la couche de l'or augmente. Les valeurs moyennes de transmission des films ITO entre 400 nm et 1000nm sont 93,5%, 93%, 88,5% et 83,5%, respectivement, quand ils sont recouverts de 0, 0,5, 1,0 et 1,5 nm d'or. Cette diminution de transmission de la lumière visible à travers le film mince de métal peut expliquer, au moins en partie, la baisse de rendement des cellules solaires organiques quand l'épaisseur de l'or dépasse 0.6 nm

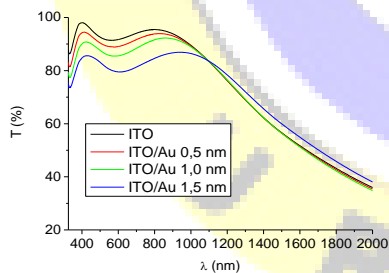


Figure 1 – Spectres en transmission de l'ITO couvert d'or de différentes épaisseurs

La morphologie de la surface des films de l'ITO avant et après le dépôt d'or a été visualisée par la microscopie à force atomique (Figure 2) et la microscopie électronique à balayage (Figure 3). Les mesures AFM illustrées sur la figure 2, montrent que sur une superficie de 4 mm^2 , la rugosité moyenne mesurée est égale 0,8 nm. Cette faible rugosité de la surface de ces films a été corroborée par la visualisation au

MEB (Figure 3). L'étude de l'AFM montre que les dépôts d'or n'ont pas un effet important sur la morphologie d'ITO.

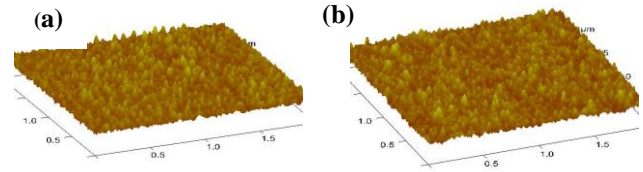


Figure 2 – Images AFM des films : (a)- ITO seul, (b)- ITO/Au

En effet, la rugosité mesurée de l'électrode (0,8 nm) étant supérieure à l'épaisseur de la pellicule d'or. Ceci suggère que le métal précieux (Au) ne peut pas former de film continu à la surface de l'ITO, ceci est d'ailleurs mis en évidence par la visualisation au MEB (Figure 3). Nous distinguons clairement des spots avec des tailles 10 nm environ, distribués de façon aléatoire sur l'anode d'ITO

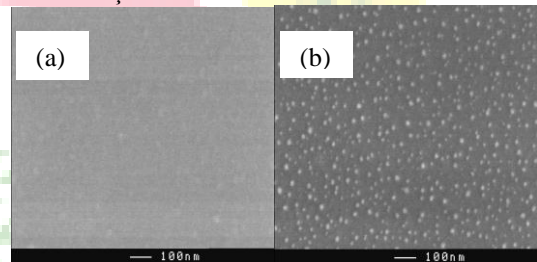


Figure 3 – Images MEB de l'anode : (a) - ITO seul et (b)- ITO couvert avec une fine couche d'or de 0.5 nm

3.2 Caractérisation des cellules solaires organiques

Nous pouvons voir sur les figures 4 et dans le tableau 2 que la présence d'une très fine pellicule d'or augmente de façon significative les dispositifs réalisés. De plus, si l'or améliore systématiquement les performances des cellules l'ordre de grandeur de l'amélioration induite par l'insertion d'une couche ultra-mince d'or dépend de l'ITO utilisé. Le tableau 2 nous permet aussi de constater que l'introduction d'une très mince pellicule d'or (0.5nm d'épaisseur) entre l'anode et l'accepteur d'électrons entraîne une augmentation de 50% de la performance de la cellule dans le cas du lot a, le lot b n'est pas représenté. Cela signifie que l'amélioration des performances des cellules induite par une couche ultra-mince d'or est, grosso modo, inversement proportionnel à la performance de l'anode sans or. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 2 et que le meilleur film, est celui obtenu avec une épaisseur d'or égale à $0,5 \pm 0,2 \text{ nm}$.



Anode	J _{cc} (mA/cm ²)	V _{co} (V)	F F	η %
ITO	7.31	0.4 5	0 .44	1 .45
ITO/Au (0.5nm)	8.09	0.4 9	0 .56	2 .25

2 —
Données
photovoltaïques

des dispositifs avec anode ITO/Au sous illumination AM 1.5 de 100 mW/cm².

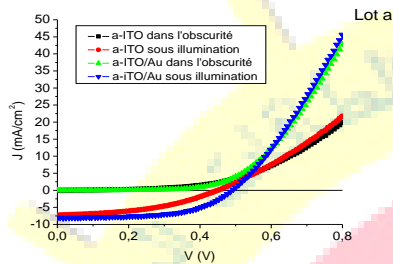


Figure 4 — Caractéristiques I-V des différentes cellules solaires obtenues à partir du lot a

* Verre /ITO /CuPc /C₆₀ /Alq₃/Al / P (■) dans l'obscurité, (●) sous illumination AM1.5 de 100 mW/cm².

* Verre /ITO/Au (0.5nm) //CuPc /C₆₀ /Alq₃/Al / P (▲) dans l'obscurité, (▼) sous illumination AM1.5 de 100 mW/cm²

III. CONCLUSIONS

Il est bien connu que les travaux d'extractions élevés et reproductibles sont difficiles à obtenir avec l'ITO, rendant les

contacts ohmiques difficiles à réaliser avec le donneur d'électrons. Le métal avec son travail d'extraction élevé permet d'avoir un contact ohmique. En outre, la chimie de surface de l'ITO est difficile à contrôler, ce qui explique la différence dans les efficacités obtenues à partir des cellules solaires fabriquées avec différents lots d'ITO. Dans tous les cas, l'introduction d'un film ultra-mince d'or (0.5nm d'épaisseur) entre l'anode et l'accepteur d'électrons entraîne une amélioration importante des performances des cellules solaires organiques. Nous avons montré que cette amélioration est inversement proportionnelle aux qualités initiales de l'oxyde transparent conducteur (ITO) utilisé comme anode.

ACKNOWLEDGMENT

The heading of the Acknowledgment section and the References section must not be numbered.

Causal Productions wishes to acknowledge Michael Shell and other contributors for developing and maintaining the IEEE LaTeX style files which have been used in the preparation of this template. To see the list of contributors, please refer to the top of file IEEETran.cls in the IEEE LaTeX distribution.

REFERENCES

- [1] P. Peumans, S.R. Forrest, *Appl. Phys. Lett.* 79, 126 (2001).
- [2] C.J. Brabec, S.E. Shaheen, C. Winder, N.S. Sariciftci, P. Denk, *Appl. Phys. Lett.* 80 1288 (2002).
- [3] N.R. Armstrong, C. Carter, C. donley, A. Simmonds, P. Lee, M. Brumbach, B. Kippelen, B. Domercq, S. yoo, *Thin Solid Films*, 445 , 342 (2003).
- [4] B. Johnev, M. Vogel, K. Fostiropoulos, B. Mertesacker, M. Rusu, M.C. Lux-Steiner, A. Weidinger, *Thin Solid Films* 488, 270 (2005).