

Amélioration des performances photovoltaïques à l'aide d'une nouvelle photocathode à base de nanocomposite de poly (3,4-éthylènedioxythiophène) / Ag – CuO dans des cellules solaires à colorant

Comptes Rendus. Chimie, 2020, 23, no. 2, p. 105-115

Mohammad Mazloun-Ardakani ; Rezvan Arazi

(traduction post-éditée par N. Bacaër, suggestions d'amélioration : nicolas.bacaer@ird.fr)



Résumé

Une nouvelle contre-électrode (CE) basée sur un nanocomposite d'argent et d'oxyde de cuivre est développée et caractérisée par XRD et FE-SEM. Un système polymère contenant du poly (3,4-éthylènedioxythiophène) (PEDOT) est utilisé comme polymère conducteur pour préparer une contre-électrode transparente pour un dispositif à cellule solaire sensible aux colorants (DSSC). L'analyse électrochimique est utilisée pour étudier l'activité catalytique de la réduction des ions triiodure dans différentes contre-électrode à base de DSSC. Pour étudier l'effet de la modification de la photoélectrode sur la résistance de transfert de charge, une spectroscopie d'impédance de courant alternatif est réalisée. L'efficacité de conversion de puissance et la densité de courant de court-circuit (J_{SC}) augmentent de 8,01% à 9,06% et de 16,18 à 17,79 mA/cm², respectivement, en raison de la conductivité électrique et de l'activité électrocatalytique considérablement améliorées de la nouvelle contre-électrode à base de nanocomposites PEDOT/Ag – CuO.

1. Introduction

La consommation excessive de combustibles fossiles et la crainte de leur épuisement ont conduit les chercheurs à rechercher des sources d'énergie renouvelables [1]. Les phénomènes photovoltaïques sont les plus importants parmi les sources d'énergie renouvelables car l'énergie solaire est abondante [2]. La lumière du soleil est convertie directement en électricité par un dispositif à cellules solaires grâce à des phénomènes photovoltaïques. Les cellules solaires sont étudiées sur quatre générations [3, 4, 5]. Les cellules solaires à plaquettes de silicium cristallin et les cellules solaires à couches minces appartiennent respectivement à la première et à la deuxième génération. Les cellules solaires nanocristallines et photoélectrochimiques sont appelées la troisième génération. En outre, la technologie à jonctions multiples et les cellules solaires en polymère sont classées dans la quatrième génération. Les cellules solaires à colorant (DSSC) appartiennent à la troisième génération. Ils convertissent la lumière du soleil en électricité et surmontent ainsi les limitations fondamentales de la conversion d'efficacité dans les dispositifs à jonction unique. Ils sont fabriqués à partir de matériaux écologiques et bon marché [6]. Les DSSC sont une alternative peu coûteuse à un système photovoltaïque conventionnel basé sur des dispositifs de silicium ou de semi-conducteurs composés. Un DSSC est constitué d'un photoanode, un couple redox () dans l'électrolyte liquide, un colorant sensibilisateur adsorbé sur TiO₂ mésoporeux et une contre-électrode, cette dernière catalyse la régénération de l'électrolyte [7]. Dans les DSSC, le Pt a une bonne activité électrocatalytique (ECA) vers la réduction de , et il est généralement utilisé comme photocathode. En raison de leur coût élevé, les matériaux sans Pt tels que les métaux de transition inorganiques [8], les matériaux au carbone [9] et les polymères conducteurs [10] ont suscité un intérêt en tant que substitut aux EC en raison de leurs propriétés particulières. Les polymères

conducteurs ont été développés en 1977 par la découverte du premier polymère organique conducteur, le polyacétylène [11]. Le polypyrrole, la polyaniline, le poly (3,4-éthylènedioxythiophène) (PEDOT) et le polythiophène sont quelques-uns des exemples les plus clairs de polymères conducteurs. Le PEDOT est un polymère hautement transparent, électrochimiquement actif et conducteur qui est utilisé comme photocathode en raison de sa rugosité de surface élevée et de sa bonne stabilité thermique [12].

Au cours des dernières décennies, les progrès des nanotechnologies et des nanosciences ont élargi les possibilités d'utilisation des nanoparticules (NP) dans divers domaines: (1) nanoparticules de métal/oxyde, (2) nanotubes de carbone, (3) graphène et (4) nanofibres de carbone [13, 14, 15]. Les métaux tels que le nickel, le manganèse, le zinc et le cuivre ont gagné en intérêt en raison de leurs énormes avantages tels que les capacités de transfert d'électrons, une bonne ECA, de grandes surfaces et une accessibilité facile [16]. Parmi ces oxydes métalliques, les matériaux à base de CuO en tant que semi-conducteur de type p ont été largement explorés en raison de leur bande interdite (1,2 eV) et de leur facilité de sensibilisation [17].

Dans cette étude, un nouveau nanocomposite PEDOT/Ag – CuO à base de contre-électrode a été fabriqué et caractérisé en utilisant diverses techniques. De plus, la caractéristique J - V a été utilisée pour étudier l'effet de la nouvelle contre-électrode sur l'efficacité de conversion des DSSC. Dans cet article, les propriétés électrocatalytiques et la résistance au transfert de charge entre les espèces redox et différentes contre-électrodes tels que le platine, le PEDOT et les contre-électrodes à base de nanocomposites PEDOT/Ag – CuO ont été étudiés. Par la suite, les paramètres photovoltaïques ont été étudiés et résumés.

2. Experimental section

2.1. Matériaux

L'iode (I_2), la 4-tert-butylpyridine (4-TBP), le borohydrure de sodium et l'acide acétique ont été obtenus auprès de Merck Chemical Co. 3,4-éthylènedioxythiophène (EDOT, 97%), isopropoxyde de titane (IV), éthyl cellulose, le terpinéol, le thiocyanate de guanidinium ($GuSCN$, ~ 99,9%), l'acétonitrile (AN), l'iodure de lithium anhydre (LiI) et le perchlorate de lithium ($LiClO_4$) ont été commandés à Sigma-Aldrich et utilisés tels que reçus. 1-méthyl-3-propyl imidazolium iodure (PMII), le chlorure de platine (IV) ($PtCl_4$), $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ et $AgNO_3$ ont été obtenus auprès de Fluka. Le colorant sensibilisateur [cis-dithiocyanate-N, N' - bis- (4-carboxylate-4-tétrabutylammonium carboxylate-2, 2' -bipyridine) ruthénium (II) (N719)] a été acheté à Solaronix SA, Aubonne, Suisse. Du verre SnO_2 dopé au fluor (FTO), d'une épaisseur de 2 mm, avec une résistance de feuille de $12 \Omega/carré$, a été utilisé comme substrat pour laminer la pâte de TiO_2 de laboratoire .

2.2. Synthèse de nanocomposite Ag – CuO

Le nanocomposite Ag – CuO a été obtenu par addition de 40 mL de borohydrure de sodium 0,8 M à une solution de mélange $AgNO_3/Cu(NO_3)_2$ [6,80 mL de 0,88 M $Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ et 6,80 mL de solutions aqueuses 0,42 M $AgNO_3$] et agité à 25 °C pendant 4 h pour former un précipité homogène. Par la suite, pour éliminer le matériau n'ayant pas réagi, le précipité a été filtré, lavé avec de l'eau désionisée et séché à 40 °C. Enfin, le nanocomposite a été recuit à 400 °C pendant 3 h pour convertir le cuivre du nanocomposite en CuO. Le produit obtenu est le nanocomposite Ag – CuO.

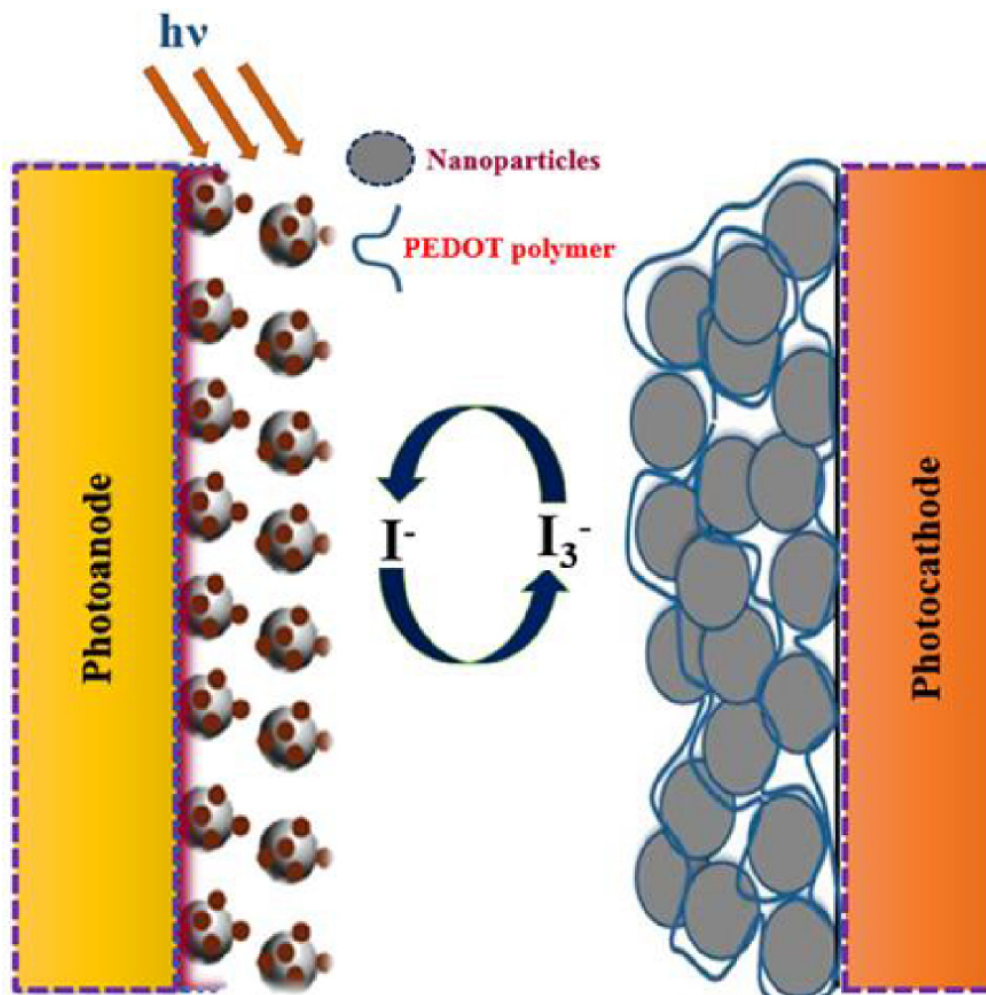


Schéma 1. Illustration schématique de la mise en place du PEDOT/nanocomposite sur la contre-électrode.

2.3. Préparation de différents types de contre-électrodes

Les substrats en verre FTO utilisés pour les contre-électrodes ont été lavés avec des détergents, de l'eau et de l'acétone et une solution HCl/éthanol dans un bain à ultrasons pour éliminer la contamination par le fer. Auparavant, les contre-électrodes à base de nanocomposites Pt, PEDOT et PEDOT/Ag – CuO étaient fabriqués comme décrit dans les étapes suivantes. Les photocathodes à base de Pt ont été préparées en faisant tomber une solution de PtCl₄ 5 mM dans de l'isopropanol sur les substrats en verre FTO puis en cuisant dans un four à environ 385 °C pendant environ 15 min [18], tandis que PEDOT et PEDOT/Ag – CuO nanocomposite à base de contre-électrode ont été préparés par électropolymérisation d'EDOT à 1,2 V (par rapport à Ag/Ag + électrode de référence) pendant 50 s avec un système à trois électrodes dans une solution d'acétonitrile [nanocomposite Ag – CuO (1,0 mg/mL) + EDOT (10 mM) à température ambiante, schéma 1)]. A titre de comparaison, PEDOT contre-électrode a été préparé en LiClO₄ (0,1 M) sans le nanocomposite Ag – CuO.

2.4. Assemblage de DSSC basés sur différentes contre-électrodes

Après avoir nettoyé les substrats en verre FTO à l'aide d'un bain à ultrasons contenant de l'eau et de l'acétone (15 min), ils ont été traités avec TiCl₄ (40 mM) pendant 30 min à 70 °C (prétraitement TiCl₄). La pâte de TiO₂ de laboratoire [19] a été étalée sur les substrats pour préparer des électrodes photoanodes d'épaisseur optimisée. Ensuite, les électrodes de TiO₂ préparées ont été immergées dans la solution de TiCl₄ 40 mM et chauffées à 70 °C pendant 30 min pour améliorer le contact électrique et l'adhérence (post-traitement au TiCl₄), puis frittées à 500 °C pendant 30 min. La zone active des électrodes a été sélectionnée à 0,16 cm². Après frittage, les électrodes ont été immergées dans une solution 5x10⁻⁴ M de colorant N719 contenant de l'acétonitrile et du tert-butanol (1: 1) pendant 21 h. La solution d'électrolyte a une composition optimisée de LiI (0,6 M), I₂ (0,05 M), 4-TBP (0,5 M), GuSCN (0,1 M) et MPII (0,45 M) dans un solvant organique. La

solution d'électrolyte a été injectée dans les différentes contre-électrodes à travers un trou et les photoélectrodes ont été physiquement prises en sandwich en utilisant des porte-cellules.

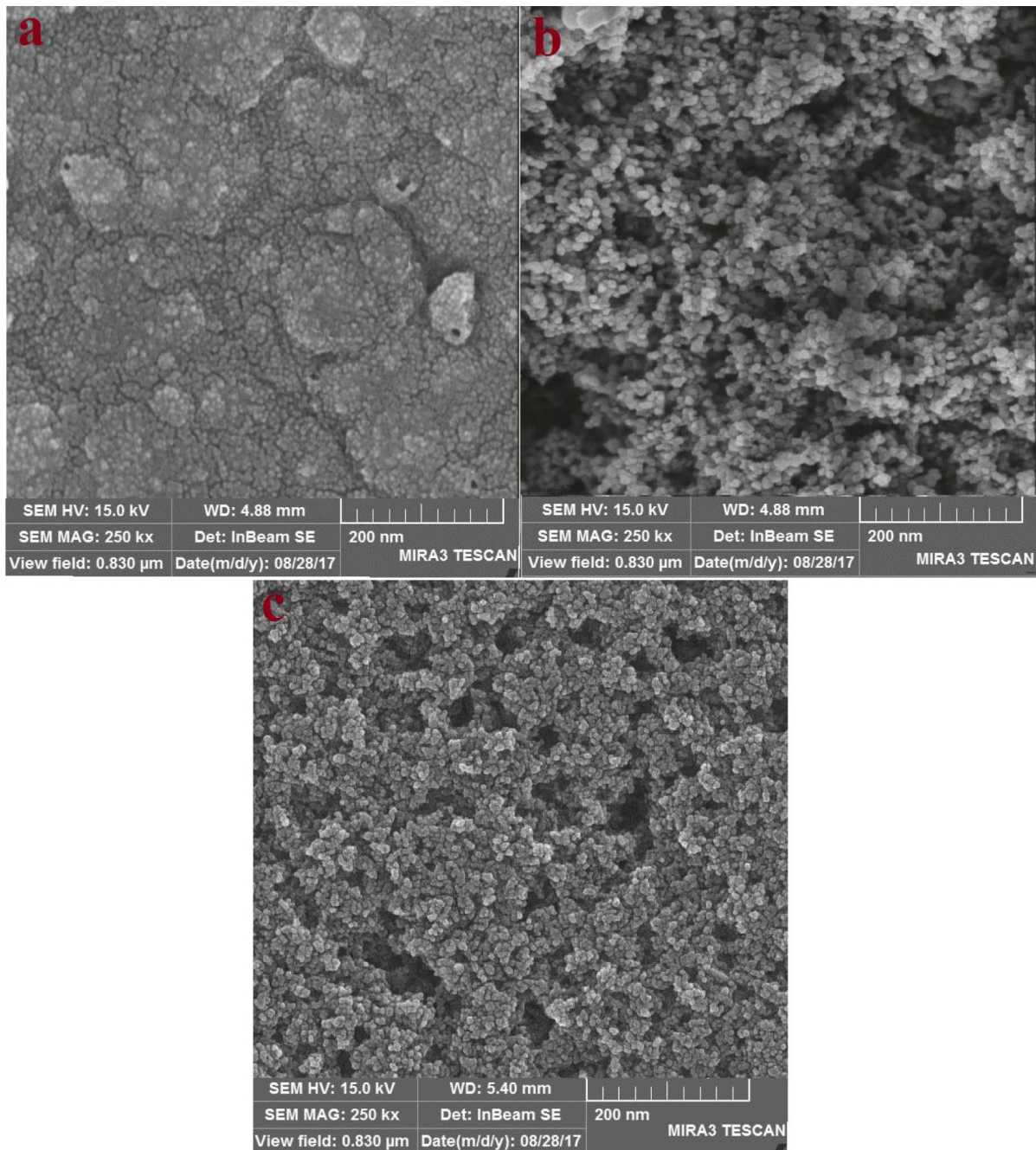


Figure 1. Images FE-SEM (vue de dessus) de (a) PEDOT sur le substrat FTO avec un temps de polymérisation de 50 s, (b) nanocomposite Ag – CuO et (c) nanocomposite PEDOT/Ag – CuO.

2.5. Caractérisation des DSSC assemblés

Les paramètres de densité de courant-tension ont été obtenus par un simulateur de lumière solaire équipé d'une lampe Xe de 450 W comme source de lumière et d'un filtre IR à base d'eau et d'un filtre AM1.5. En outre, un instrument potentiostat/galvanostat IVIUM a été utilisé pour caractériser différentes contre-électrodes basées sur le DSSC. Pour étudier la résistance au transport de charge entre les espèces redox et les différentes contre-électrodes (PEDOT, PEDOT/nanocomposite Ag – CuO et Pt), des mesures de spectroscopie d'impédance en courant alternatif (AC) ont été effectuées à l'aide d'un instrument IVIUM avec logiciel Z-view dans la gamme de fréquences 0,1 Hz – 0,3 MHz avec deux contre-électrodes identiques. L'analyse de polarisation Tafel a été réalisée par une méthode similaire aux mesures d'impédance et réalisée à une vitesse de balayage de 20 mV/s. Etudier l'ECA des différentes contre-électrodes vers réduction, la voltamétrie cyclique (CV) a été réalisée dans une solution d'acétonitrile [LiI (0,01 M), LiClO₄ (0,1 M), I₂ (0,001 M)] en utilisant une configuration à trois électrodes [gamme de potentiel (-0,6 à 1,4), taux de balayage (50 mV/s)]. Les diagrammes XRD des produits ont été obtenus par rayonnement Cu K α .

monochromatisé et diffractomètre X'PertPro. Un microscope électronique à balayage à émission de champ Mira 3-XMU a été utilisé pour examiner la morphologie de surface de différentes contre-électrodes.

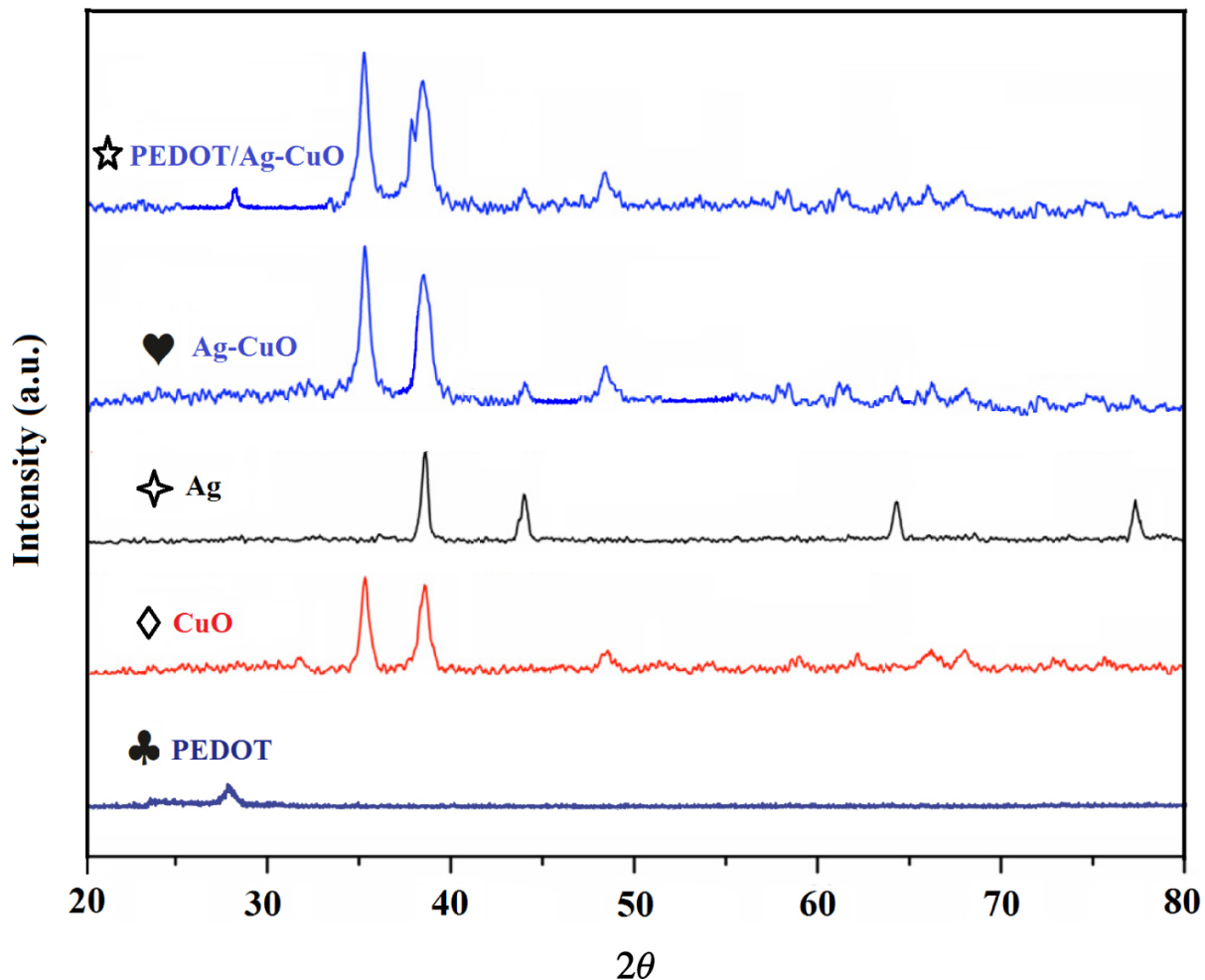


Figure 2. Diagrammes de diffraction des rayons X de PEDOT avec un temps de polymérisation 50 s, CuO NPs, Ag NPs, Ag – CuO nanocomposite et PEDOT/Ag – CuO nanocomposite (PEDOT → ♣, CuO NPs → ◇, Ag NPs → ↗, Ag – CuO nanocomposite → ♥, et nanocomposite PEDOT/Ag – CuO → ☆).

3. Résultats et discussion

3.1. Microscopie électronique à balayage à émission de champ (FE-SEM)

Les morphologies de PEDOT, nanocomposite Ag – CuO et nanocomposite PEDOT/Ag – CuO ont été examinées à l'aide de FE-SEM (Figure 1). Comme le montre la figure 1 a, l'image FE-SEM du PEDOT électropolymérisé (50 s) sur le substrat FTO montre une surface plus rugueuse et une morphologie densément granulaire. Ce résultat était conforme aux études publiées antérieurement [10, 20]. De plus, la morphologie des nanoparticules d'Ag – CuO telles que synthétisées a été étudiée par la technique FE-SEM. Figure 1b montre l'image FE-SEM des nanoparticules Ag – CuO, qui sont des nanoparticules sphériques poreuses adaptées à l'adsorption d'ions triiodure. Il montre une distribution homogène de cristaux en forme de grain aux tailles attendues, contribuant à l'augmentation de la surface du matériau. Bien que les tailles moyennes de particules des deux nanoparticules semblent similaires (environ 40 à 50 nm), les particules de CuO sont uniformes et régulières en forme et en taille contrairement aux nanoparticules d'Ag. Le dépôt électrochimique de PEDOT (50 s) sur les modèles poreux pour produire le nouveau nanocomposite PEDOT/Ag – CuO (Figure 1 c) montre un mélange de nanoparticules sphériques granulaires et poreuses denses. Cependant, le PEDOT est distribué plus uniformément dans le film que dans la figure 1a et s'enroule fermement sur les nanoparticules. Ce résultat indique un effet synergique des deux matériaux résultant en des sites plus actifs exposés pour la réduction des triiodures et en obtenant par la suite une ECA améliorée et une efficacité de conversion de puissance élevée (P contre-électrode). En outre, la structure de rugosité de surface

élevée du polymère PEDOT par rapport aux autres polymères conduit à une amélioration de l'ECA et de l'efficacité de conversion [12].

3.2. Diffraction des rayons X (XRD)

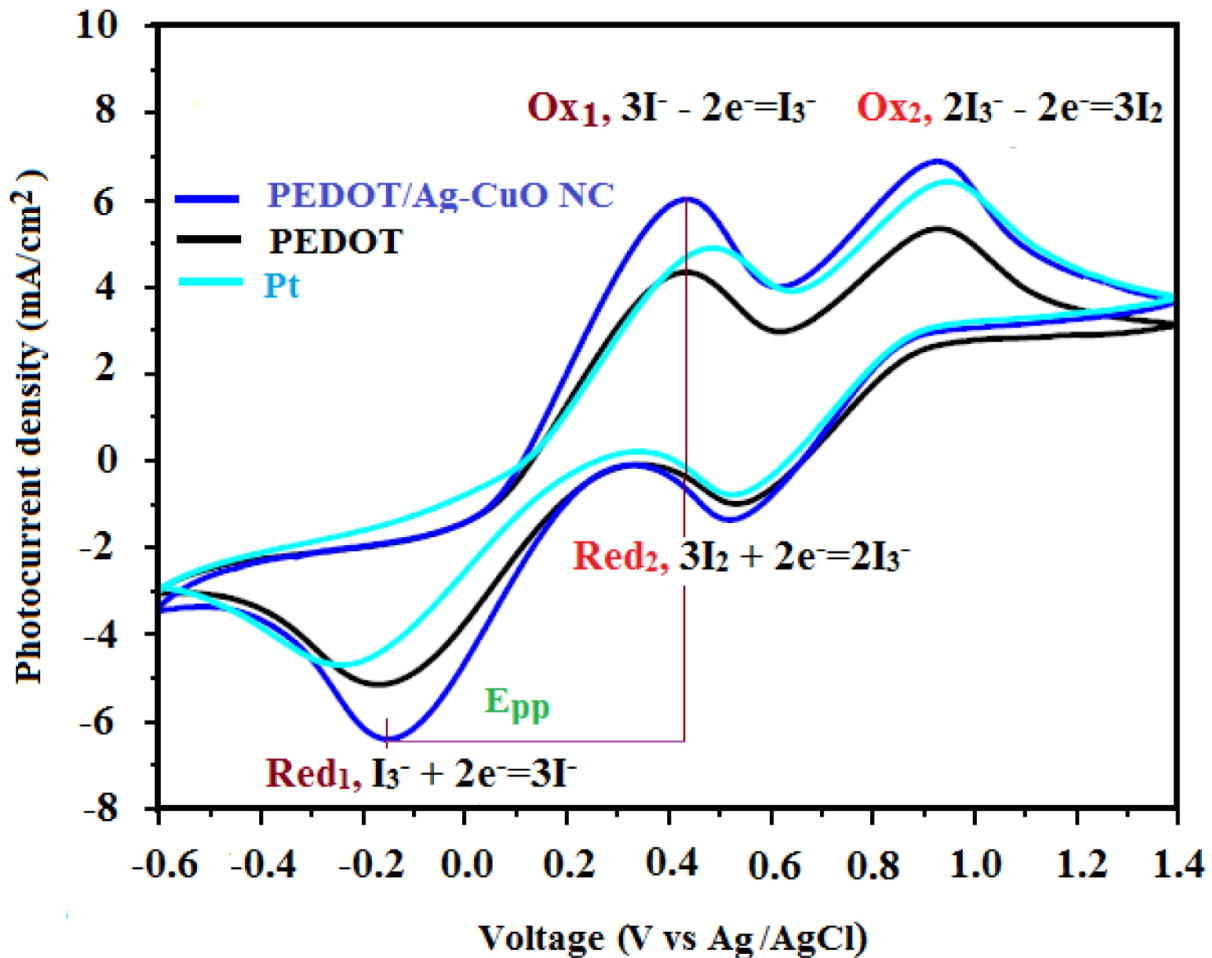


Figure 3. (a) Voltammogrammes cycliques obtenus pour les contre-électrodes à base de nanocomposite PEDOT, PEDOT/Ag – CuO et Pt contre-électrode dans un système à trois électrodes à une vitesse de balayage de 50 mV/s de 0,6 à +1,4 V pour l'oxydation et la réduction de .

Les structures cristallines du nanocomposite Ag, CuO, Ag – CuO, PEDOT et PEDOT/Ag – CuO ont été analysées par XRD sur poudre (figure 2). Les pics caractéristiques à $38,4^\circ$ (111), $44,9^\circ$ (200), $64,8^\circ$ (220) et $78,9^\circ$ (311) sont associés à l'Ag monoclinique (JCPDS 04-0783). Tous les pics de diffraction à $2\theta = 32,54^\circ$ (110), $35,09^\circ$ (-111), $38,70^\circ$ (111), $48,77^\circ$ (-202), $53,48^\circ$ (020), $58,29^\circ$ (202), $61,65^\circ$ (-113), $66,28^\circ$ (-311) et $68,14^\circ$ (113) peut être attribuée à la phase d'oxyde de cuivre. Les diagrammes XRD d'AgNO₃/Cu (NO₃)₂/PEDOT après le processus de réduction affichent des pics de diffraction bien définis, correspondant à la nanostructure Ag/CuO. En fait, la réduction par l'hydrazine a efficacement converti AgNO₃ et Cu (NO₃)₂ en Ag et CuO NP dans la solution d'essai. Un pic caractéristique à environ $2\theta \sim 27^\circ$ [21] correspond à l'empilement annulaire plan interchaîne dans tous les polymères conducteurs. Dans cette étude, PEDOT présente également un pic à $26,2^\circ$ (107), qui est attribué à l'empilement d'anneaux planaires interchaînes (JCPDS 00-048-1449). Les pics de diffraction du nanocomposite PEDOT/Ag – CuO à $26,2^\circ$ (107), $35,09^\circ$ (-111) et $38,70^\circ$ (111) montrent que le nouveau nanocomposite PEDOT/Ag – CuO a été déposé avec succès sur le substrat et correspond à tous les pics de PEDOT, Ag et CuO, indiquant que tous les matériaux étaient présents dans le nouveau nanocomposite.

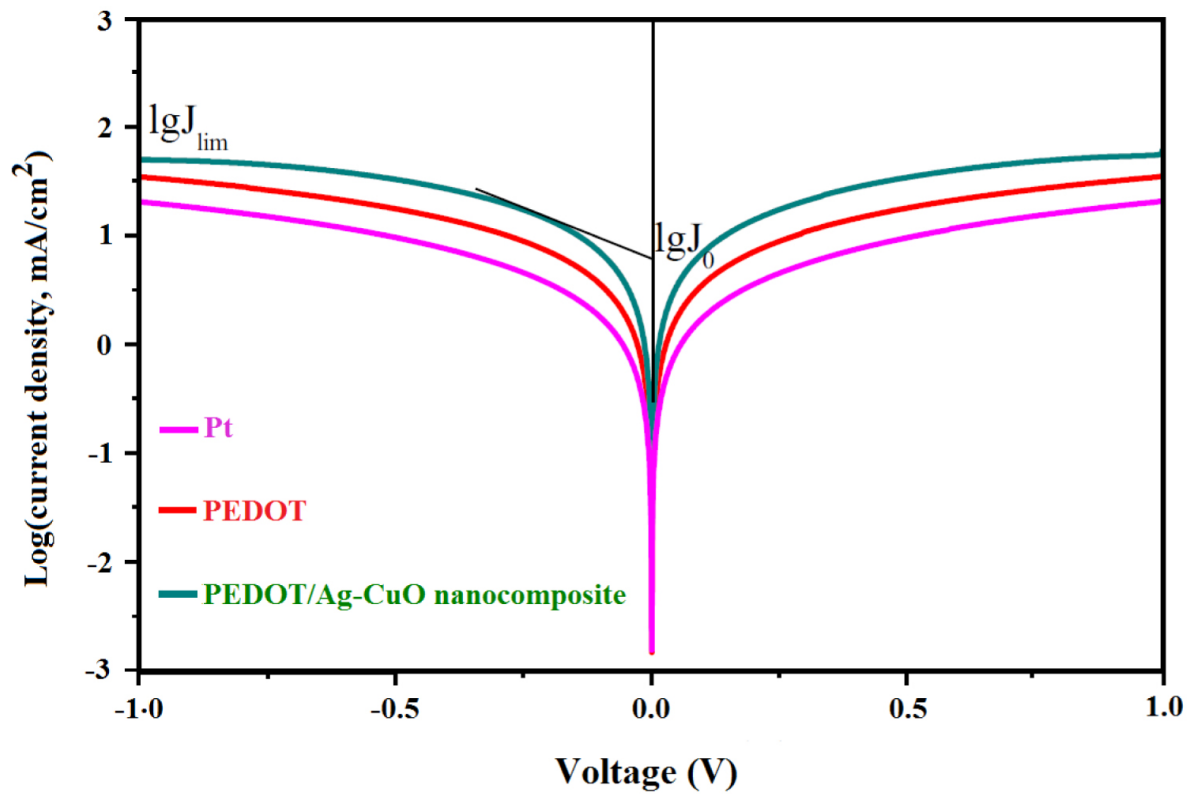
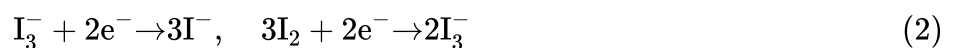


Figure 4. Courbes Tafel des cellules symétriques préparées par PEDOT, PEDOT/Ag – CuO nanocomposite et Pt contre-électrodes.

3.3. Voltamétrie cyclique

Puisque la contre-électrode dans le DSSC est responsable de catalyser la régénération de I^- à partir de I_3^- ($I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$) [19], pour comprendre si le nanocomposite contre-électrode PEDOT/Ag – CuO convient pour améliorer l'électrocatalyse de différents DSSC, les propriétés électrochimiques du nanocomposite PEDOT, PEDOT/Ag – CuO et du platine tels que synthétisés ont été mesurées par CV. La figure 3 présente les deux ensembles de pics redox attribués à l'oxydation iodure – triiodure (1) et à la réduction triiodure – iode (2).



(2) Il a été constaté que la densité de courant de pointe (i_p) et la séparation pic à pic ($E_{\text{pic à pic}}$, E_{pp}) sont les deux paramètres clés pour évaluer les activités catalytiques contre-électrode [22]. Le courant de crête cathodique (i_{pc}) se rapporte à la réduction et le courant de crête anodique (i_{pa}) concerne l'oxydation dans une solution d'électrolyte à base d'acétonitrile contenant I_2 (0,001 M), $LiClO_4$ (0,1 M) et LiI (0,01 M).

L' E_{pp} des courants cathodique et anodique est inversement proportionnel à k_{redox} , tandis que l' i_{pc} est directement lié à la capacité contre-électrode à réduire ions. L'importance de l'oxydation de l'iode correspond au processus de transfert d'électrons et à l'activation électrocatalytique à l'interface contre-électrode/électrolyte dans les différents dispositifs DSSC. L' E_{pp} pour PEDOT/Ag – CuO nanocomposite contre-électrode est ~ 560 mV, ce qui est inférieur à celui des deux autres contre-électrodes (E_{pp} de PEDOT contre-électrode ~ 590 mV et Pt contre-électrode ~ 680 mV), indiquant un transfert de charge plus important pour le PEDOT/contre-électrode nanocomposite Ag – CuO comparé à la contre-électrode Pt. Comparé au Pt, la contre-électrode en nanocomposite PEDOT/Ag – CuO génère une densité de photocourant cathodique plus importante ($J_{\text{Red1}} = -6,50 \text{ mA/cm}^2$) que les deux autres électrodes ($J_{\text{Red1}} = -5,20 \text{ mA/cm}^2$ pour la PEDOT contre-électrode et $-4,80 \text{ mA/cm}^2$ pour la contre-électrode Pt), suggérant la réduction efficace de plus adsorbé ions sur le nouveau nanocomposite PEDOT/Ag – CuO contre-électrode que sur la contre-électrode Pt (surfaces actives plus grandes) [23]. L'amélioration de l' i_{pc} et la réduction de l' E_{pp} indiquent l'excellente ECA du nanocomposite PEDOT/Ag – CuO contre-électrode vers la réaction redox [16]. Cela améliore les performances photovoltaïques des DSSC, ce qui améliore le comportement électrocatalytique

pour réduction et fournit une zone hautement active pour des réactions plus efficaces et plus rapides des couples redox à la nouvelle contre-électrode en nanocomposite [24]. Ces résultats sont accompagnés de l'analyse de polarisation Tafel, des mesures d'impédance AC et des caractéristiques J - V pour les différentes contre-électrodes basées sur DSSC.

3.4. Analyse de polarisation Tafel

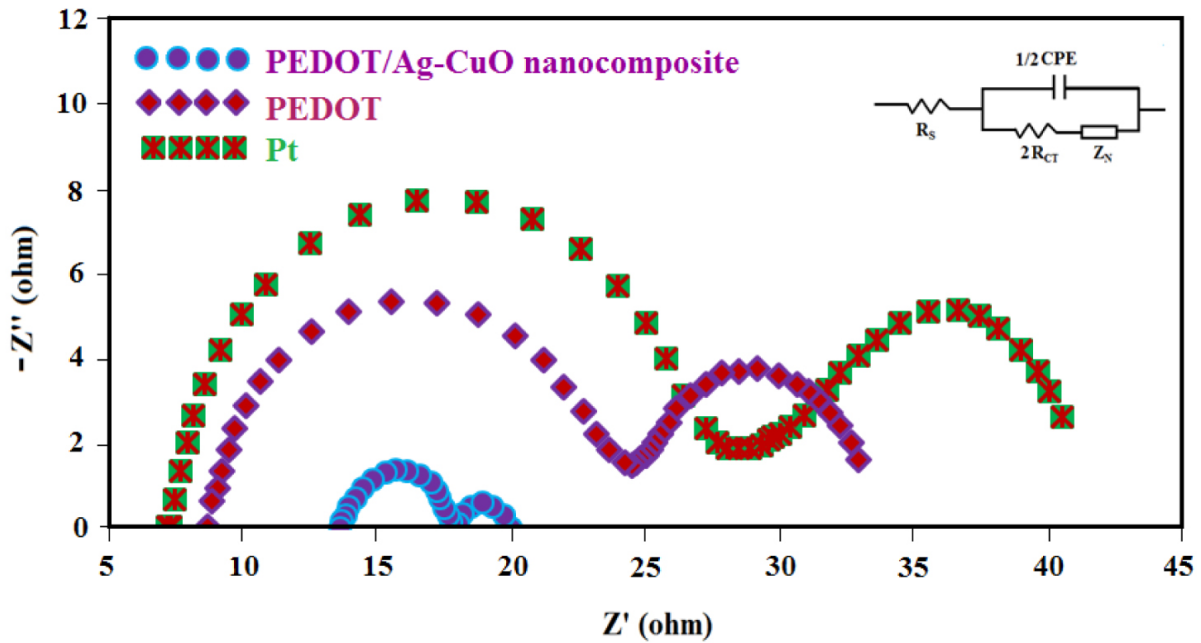


Figure 5. Mesures d'impédance CA de la cellule fabriquée avec deux cellules symétriques identiques: Pt, nanocomposite PEDOT/Ag – CuO et contre-électrode PEDOT à 1 éclairage solaire.

Tableau 1. Données d'impédance ajustées des tracés de Nyquist (R_S , R_{CT} , Z_N) et J_0 pour les DSSC basés sur des nanocomposites PEDOT, PEDOT/Ag – CuO et des contre-électrodes Pt

Counter electrode	R_S (Ω)	R_{CT} (Ω)	Z_N (Ω)	J_0 (mA/cm^2)
PEDOT/Ag–CuO nanocomposite	13.6	2.21	1.99	7.08
PEDOT	8.71	8.00	8.29	3.98
Pt	7.28	10.8	11.9	2.24

La figure 4 compare les courbes de polarisation Tafel pour les différents types de contre-électrode pour étudier la cinétique de transfert de charge à l'interface contre-électrode/électrolyte. La densité de courant d'échange (J_0) révèle la capacité des photocathodes à faciliter et à simplifier la réaction redox à la surface interfaciale contre-électrode/électrolyte. Un J_0 plus élevé conduit à une résistance de transfert de charge R_{CT} plus faible, ce qui entraîne un courant photoélectrique plus élevé. D'après (3) [25], R_{CT} est inversement proportionnel à J_0 . Ainsi, une bonne contre-électrode devrait avoir un R_{CT} inférieur : (3) où est le nombre d'électrons impliqués dans la réaction redox; R , T et F sont respectivement la constante du gaz, la température et la constante de Faraday. D'après les courbes de polarisation de Tafel, la pente de la branche de polarisation pour le nouveau nanocomposite PEDOT/Ag – CuO représente la meilleure valeur par rapport à celles des deux autres contre-électrodes (PEDOT et Pt contre-électrode), indiquant que les DSSC à base de nanocomposites présentent une électroactivité élevée dans réduction. Une comparaison de J_0 parmi trois types différents de contre-électrodes indique que la nouvelle contre-électrode à base de nanocomposites a une activité catalytique plus élevée que la contre-électrode Pt conventionnel. De plus, la densité de courant d'échange de diffusion limite (J_{lim}) peut être déterminée à partir de la courbe de polarisation de Tafel [26]. La nouvelle contre-électrode en nanocomposite PEDOT/Ag – CuO a un J_{lim} supérieur. Ce dernier est directement proportionnel au coefficient de diffusion (D) [27]: (4) où D et C sont le coefficient de diffusion et la concentration de ; n est le nombre d'électrons impliqués dans la réaction redox; d et F sont la distance entre deux électrodes et la constante de Faraday, respectivement. Par conséquent, une meilleure diffusion de l'électrolyte à travers la photocathode peut être déduite d'un J_{lim} supérieur [25]. On peut voir que la valeur J_{lim} décroît dans l'ordre suivant PEDOT/Ag – CuO nanocomposite > PEDOT > Pt contre-électrode. Par

conséquent, la capacité des espèces iodées à se diffuser dans les DSSC à base de nanocomposites PEDOT/Ag – CuO est plus notable que celle des deux autres EC. Les résultats des graphiques Tafel sont cohérents avec les études CV.

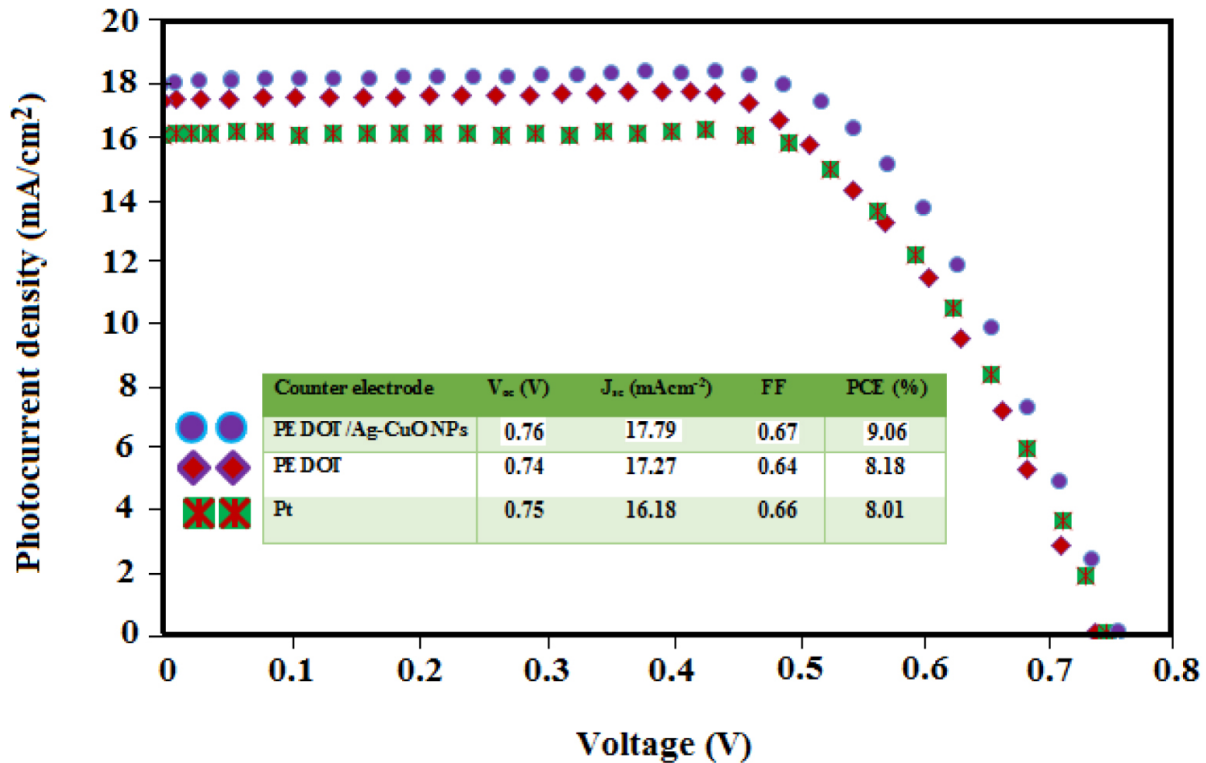


Figure 6. Diagrammes de photocourant-tension mesurés à 1 illumination solaire des DSSC, y compris PEDOT, PEDOT/Ag – CuO nanocomposite et Pt contre-électrode.

Tableau 2. Caractéristiques photovoltaïques pour les DSSC basées sur le nanocomposite PEDOT, PEDOT/Ag – CuO et Pt contre-électrode sous 1 éclairage solaire (AM1.5 , $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$)

Counter electrode	V_{oc} (V)	J_{sc} ($\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$)	FF	PCE (%)	J_{Red1} (mA/cm^2)	E_{pp} (mV)
PEDOT/Ag-CuO nanocomposite	0.76	17.79	0.67	9.06	-6.50	560
PEDOT	0.74	17.27	0.64	8.18	-5.20	590
Pt	0.75	16.18	0.66	8.01	-4.80	680

3.5. Spectroscopie d'impédance de courant alternatif (ACIS)

La figure 5 montre les graphiques de Nyquist du platine, du PEDOT et des nouvelles contre-électrodes à base de nanocomposites PEDOT/Ag – CuO. Il est clair que la diminution du diamètre du demi-cercle à haute fréquence est attribuée à la réduction de la résistance de transfert de charge à l'interface photocathode et électrolyte. En fait, les ions sont réduits en I^- par les électrons provenant de la surface du semi-conducteur TiO_2 selon (2) (). L'encart montre le circuit équivalent de différentes contre-électrodes. La valeur de la résistance au transfert de charge (R_{CT}) est utilisée pour mesurer l'activité catalytique; un R_{CT} inférieur signifie un ECA plus élevé et vice versa [27]. La résistance série (R_s) a été estimée à partir de l'interception sur l'axe réel dans la région de gauche, où R_s correspond à la résistance série de l'électrolyte et des électrodes. Les valeurs R_s des NP PEDOT/Ag – CuO contre-électrode ($13,6 \Omega$), PEDOT ($8,71 \Omega$) et platine ($7,28 \Omega$) sont résumées dans le tableau 1. Une plus petite valeur de R_{CT} ($2,21 \Omega$) est également observé pour les NP PEDOT/Ag – CuO contre-électrode en comparaison avec Pt ($10,8 \Omega$), illustrant une bonne ECA pour la réduction des triiodures dans les dispositifs à base de nanocomposites PEDOT/Ag – CuO. Ce résultat est en accord avec l'analyse CV. Il a été observé que PEDOT a une valeur R_{CT} plus élevée que le nanocomposite PEDOT/Ag – CuO ($8,00 \Omega$) en raison de sa faible conductivité. Cependant, une fois PEDOT incorporé avec les NP Ag – CuO, la valeur R_{CT} chute à $2,21 \Omega$, illustrant un transfert d'électrons plus rapide grâce à une dispersion de charge efficace. L'étude du comportement électrochimique, y compris CV, polarisation Tafel et ACIS, confirme que le nanocomposite contre-électrode à base de PEDOT a une plus

grande ECA pour réduire à I⁻ en comparaison avec les appareils à base de Pt. Ceci est le résultat de la conductivité électrique, qui résulte de son réseau poreux unique.

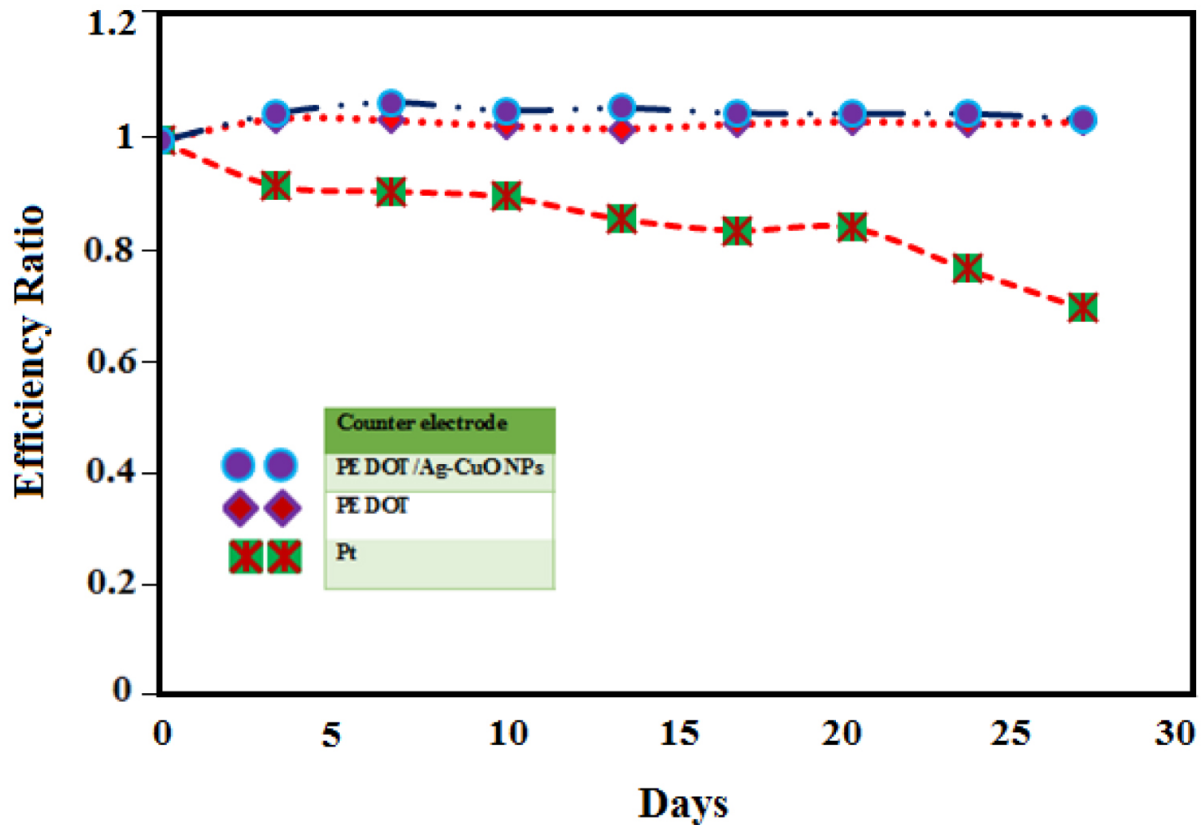


Figure 7. Stabilité à long terme des DSSC utilisant des EC avec nanocomposite PEDOT/Ag – CuO (cercle), PEDOT (diamant) et Pt (carré).

3.6. Mesures de densité-tension de photocourant (J - V)

La figure 6 montre la caractéristique photovoltaïque des DSSC préparés à l'aide de platine, de PEDOT et du nouveau nanocomposite PEDOT/Ag – CuO sous forme de contre-électrode à 1 soleil (AM1.5). D'après les résultats (Tableau 2), le dispositif PEDOT contre-électrode donne un P contre-électrode de 8,18%, avec une tension en circuit ouvert V_{OC} 740 mV, un courant de court-circuit J_{SC} 17,27 mA/cm² et un facteur de remplissage FF 0,64, qui est inférieur à celle du nanocomposite contre-électrode PEDOT/Ag – CuO (P contre-électrode = 9,06%). Le système Pt contre-électrode atteint un P contre-électrode de 8,01% avec V_{OC} 750 mV, J_{SC} 16,18 mA/cm² et FF 0,66. Malgré l'excellente stabilité chimique et la conductivité, PEDOT produit un faible rendement (8,18%) en raison de sa petite surface [28] résultant en une faible activité pour à I⁻ réduction. Pour surmonter ce problème, un matériau nanocomposite à grande surface spécifique tel que Ag – CuO est incorporé au PEDOT pour obtenir une performance supérieure. Lorsqu'il est comparé aux DSSC basés sur PEDOT contre-électrode, le P contre-électrode des contre-électrodes nanocomposites PEDOT/Ag – CuO est sensiblement amélioré de 10,76% en raison de l'ECA améliorée, de l'effet de diffusion de la lumière et de la conductivité plus élevée de la nouvelle contre-électrode. En conséquence, un P contre-électrode de 9,06% est obtenu en utilisant la nouvelle contre-électrode, qui montre une amélioration du P contre-électrode de 13,11% par rapport à la contre-électrode Pt dans les mêmes conditions. Comme le montre la figure et les résultats résumés dans le tableau 2, les cellules solaires à base de PEDOT et de nanocomposite Ag – CuO présentent les meilleures performances par rapport aux deux autres contre-électrodes. De plus, la nouvelle contre-électrode nanocomposite PEDOT/Ag – CuO possède une efficacité de conversion supérieure de 9,06%, une meilleure conductivité électrochimique et une ECA pour à I⁻ réduction par rapport aux autres EC sans Pt [10, 16, 29].

3.7. Test de stabilité à long terme des DSSC basé sur différentes contre-électrodes

La figure 7 affiche la stabilité à long terme des cellules fabriquées avec les différentes contre-électrodes. Les changements dans l'efficacité de la conversion DSSC ont été surveillés pendant 30 jours. Alors que les

cellules PEDOT/Ag – CuO et PEDOT étaient stables pendant 30 jours, les performances de la cellule à base de Pt ont considérablement diminué après seulement 10 jours, indiquant une stabilité remarquable des cellules à base de PEDOT/Ag – CuO à long terme. opération.

4. Conclusion

Récemment, les matériaux à base de PEDOT se sont montrés extrêmement prometteurs dans le domaine des nouvelles sources d'énergie renouvelables en raison de leur accessibilité, de leur facilité de production et de leur rentabilité. Dans ce travail, un nouveau nanocomposite PEDOT/Ag – CuO a été préparé et utilisé comme contre-électrode dans les DSSC. Le comportement électrochimique du nouveau dispositif a été influencé par la couche ECA car il a montré les effets combinés des nanoparticules PEDOT, CuO et Ag. Le photocourant a augmenté de manière significative par rapport aux cellules avec des électrodes Pt ou PEDOT vierges individuellement. En particulier, la nouvelle contre-électrode nanocomposite PEDOT/Ag – CuO possède une efficacité de conversion photovoltaïque plus élevée (9,06%), une faible valeur R_{CT} (2,21 Ω) et une conductivité électrochimique efficace (PEDOT: conductivité élevée) et ECA pour réduire à I - (nanocomposite Ag – CuO: grande surface).

Bibliographie

1. J. Twidell; T. Weir, Renewable Energy Resources, Routledge, 2015
2. U. Bach ("Solid-state dye-sensitized mesoporous TiO solar cells", Thesis No 2187, 2000)
3. M. A. Green, Third Generation Photovoltaics, Springer, 2006
4. L. Wagner Analyst (2007), pp. 1-15
5. M. Grätzel J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev. Volume 4 (2003), pp. 145-153
6. B. E. Hardin; H. J. Snaith; M. D. McGehee Nat. Photonics Volume 6 (2012), 162 pages
7. M. Mazloum-Ardakani; R. Arazi Heliyon Volume 5 (2019), e01444 pages
8. H. Sun; L. Zhang; G. Zhou; Z. Wang Part. Part. Syst. Charact. Volume 33 (2016), pp. 729-733
9. S. Sarker; K.-S. Lee; H. W. Seo; Y.-K. Jin; D. M. Kim Sol. Energy Volume 158 (2017), pp. 42-48
10. M. Gao; Y. Xu; Y. Bai; S. Jin Appl. Surf. Sci. Volume 289 (2014), pp. 145-149
11. H. Shirakawa; E. J. Louis; A. G. MacDiarmid; C. K. Chiang; A. J. Heeger J. Chem. Soc. Chem. Commun. (1977), pp. 578-580
12. M.-H. Yeh; C.-P. Lee; C.-Y. Chou; L.-Y. Lin; H.-Y. Wei; C.-W. Chu; R. Vittal; K.-C. Ho Electrochim. Acta Volume 57 (2011), pp. 277-284
13. M. Mazloum-Ardakani; R. Arazi Nanochem. Res. Volume 2 (2017), pp. 20-28
14. M. Mazloum-Ardakani; R. Arazi; H. Beitollahi; H. Naeimi Anal. Methods Volume 2 (2010), pp. 1078-1084
15. M. Mazloum-Ardakani; R. Arazi Anal. Bioanal. Electrochem. Volume 8 (2016), pp. 675-690
16. Z. Pang; Y. Zhao; Y. Duan; J. Duan; Q. Tang; L. Yu J. Energy Chem. Volume 30 (2019), pp. 49-56
17. K. Dhara; J. Stanley; T. Ramachandran; B. G. Nair; S. B. TG Sensors and Actuators B: Chem. Volume 195 (2014), pp. 197-205
18. M. Mazloum-Ardakani; R. Arazi; F. Tamaddon; M. T. Kazemi Ionics Volume 23 (2017), pp. 1591-1599
19. M. Mazloum-Ardakani; R. Arazi; M. Haghshenas; F. Tamaddon; M. Alizadeh Electrochim. Acta Volume 266 (2018), pp. 452-459
20. J. Rodríguez-Moreno; E. Navarrete-Astorga; F. Martín; R. Schrebler; J. R. Ramos-Barrado; E. A. Dalchiele Thin Solid Films Volume 525 (2012), pp. 88-92
21. D. M. Welsh; L. J. Kloeppner; L. Madrigal; M. R. Pinto; B. C. Thompson; K. S. Schanze; K. A. Abboud; D. Powell; J. R. Reynolds Macromolecules Volume 35 (2002), pp. 6517-6525
22. F. Gong; H. Wang; X. Xu; G. Zhou; Z.-S. Wang J. Am. Chem. Soc. Volume 134 (2012), pp. 10953-10958
23. Y. Zhao; J. Duan; Y. Duan; H. Yuan; Q. Tang Mater. Lett. Volume 218 (2018), pp. 76-79
24. Y. Xiao; J.-Y. Lin; S.-Y. Tai; S.-W. Chou; G. Yue; J. Wu J. Mater. Chem. Volume 22 (2012), pp. 19919-19925
25. M. Chen; L.-L. Shao Chem. Eng. J. Volume 304 (2016), pp. 629-645
26. Y. Liao; K. Pan; L. Wang; Q. Pan; W. Zhou; X. Miao; B. Jiang; C. Tian; G. Tian; G. Wang ACS Appl. Mater. Interfaces Volume 5 (2013), pp. 3663-3670

27. M. Mazloum-Ardakani; R. Arazi; B. B. F. Mirjalili; S. Azad Int. J. Energy Res. Volume 43 (2019), pp. 4483-4494
28. D. H. Yoon; S. H. Yoon; K.-S. Ryu; Y. J. Park Sci. Rep. Volume 6 (2016), 19962 pages
29. Q. Yang; J. Yao; K. Zhang; W. Wang; X. Zuo; H. Tang; M. Wu; G. Li J. Electroanal. Chem. Volume 833 (2019), pp. 1-8