مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية
مجلد 41-عدد 4 (2025): 14- 25

Damascus University Journal for the Basic Sciences
Vol 41 No.4 (2025): 14 -25

تحضير فلم من البولي الأنيلين المعزز بأكسيد الغرافين المرجع واستخدامه كإلكترود مضاد في الخلايا الشمسية الصباغية

علا شاهر عامر [1] إبراهيم محمود الغريبي [2]

[1] طالبة دراسات عليا (دكتوراه) ، كلية العلوم، جامعة دمشق ola.amer@damascusuniversity.edu.sy

[2] استاذ مساعد في قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق
ibrahim.alghoraibi@damascusuniversity.edu.sy

الملخّص:

جرى توضيع فلم هجين من البولي أنيلين (PANI) وأكسيد الغرافين المرجع (rGO) على ركائز شفافة ناقلة كهربائياً (ITO) بطريقةٍ كيميائية جديدة وذلك عن طريق بلمرة الأنيلين بوجود معلق اكسيد الغرافين المرجع(rGO)، جرى توصيف كل من الفلم الهجين (PANI/rGO) وفلم البولي أنيلين الشاهد بمطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) ومطيافية الأشعة فوق البنفسجية (UV-Vis). دُرست الخصائص الكهركيميائية للأفلام المُحضرة بالقياس الفولطاأمبيرومتري الحلقي (CV) حيث أظهرت المنحنيات ارتفاع الناقلية الكهربائية في الفلم الهجين قرابة سبعة أضعاف عما كانت عليه في فلم PANI. درست مورفولوجيا سطح الفلم المحضر باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (FE-SEM) لوحظ في بنيتها وجود صفائح نانوية من أوكسيد الغرافين المرجع محملة بالبوليمير. تم تطبيق الفلم الهجين كالكترود مضاد في الخلية الشمسية الصباغية التي حضرت من صباغ التوت الشامي الطبيعي وفلم أوكسيد الزنك النانوي الذي تم تحضيره وتوصيفه بنيوياً باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) حيث بلغت أبعاد الحبيبات نحو 50nm، وبفجوة طاقية تساوي 3.26eV، ودُرس أداء الخلية الشمسية حيث وصل مردود الخلية نحو 2.65% ومعامل ملء 0.9.

الكلمات المفتاحية: فلم هجين، بولي أنيلين، أكسيد الغرافين المرجع، قياس الفولطا أمبيرومتري الحلقي، خلية شمسية صباغية، فلم أكسيد الزنك النانوي.

تاريخ الإيداع: 2024/01/21
تاريخ الموافقة: 2024/03/17

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

ISSN (online): 2789-6366
http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index

Preparation film of Polyaniline Enhanced by reduced graphene oxide and its use as a counter electrode in Dye-Sensitized Solar Cells

Ola Shaher Amer[1] Ibrahim Mahmoud Alghoraibi[2]

[1] Damascus University, Faculty of Science, Physics Department, ola.amer@damascusuniversity.edu.sy

[2] Damascus University, Faculty of sciences, Physics Department, ibrahim.alghoraibi@damascusuniversity.edu.sy

Received :2024/01/21
Accepted:2024/03/17

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

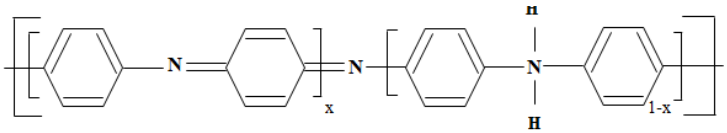
Hybrid film of Polyaniline (PANI) and the reduced Graphene oxide (rGO) has been deposited on transparent conductive substrates (ITO) via new chemical method. The (PANI/rGO) and Polyaniline films were characterized by the (FTIR) spectroscopy and (UV-Vis) spectrophotometry. The electrochemical properties of the (PANI/rGO) film was studied via cyclic voltammetry (CV) where the conductivity increased approximately seven times compared to the initial value of PANI film. The surface morphology was examined by scanning electron microscopy (FE-SEM). The (PANI/rGO) film was used as a counter electrode in the dye-sensitized solar cell which prepared using shami- berries and ZnO nanofilm. the film morphology was examined using atomic force microscopy. The nanoparticles size obtained was of the order of 50 nm and the band gap energy was about 3.26 eV. The photo conversion efficiency of the dye-sensitized solar cell was about 2.65% with fill factor of 0.9.

Keywords: Hybrid film, Polyaniline, reduced graphene oxide, The Cyclic Voltammetry (CV), Dye-sensitized solar cell, Zinc oxide nanofilm.

مقدّمة:

ينشغل الباحثون في مختلف العلوم بكيفية الحصول على الغرافين نظراً لخصائصه الكهربائية والسطحية والميكانيكية المبهرة فهو مؤلف من رقاقات ثنائية البعد من طبقة واحدة من ذرات الكربون ذات التهجين sp^2 مرتبطة بتشكل يماثل ترتيب خلايا النحل، حيث طُورت العديد من الطرق لإنتاجه أو للحصول على مركب يشبهه بنيوياً. رُشح الغرافين لتعزيز الخصائص الكهركيميائية للبوليمرات الناقلة وعلى وجه الخصوص البولي أنيلين الذي يعد من أشهرها نظراً لتمتعه بخصائص جذّابة كسهولة تصنيعه وانخفاض تكلفة وحدته البنائية واستقراره الحراري، يعرض الشكل (1) الوحدة المتكررة في البولي أنيلين حيثُ يمتلك ثلاثة أشكال مدرجة بالجدول [1] [2].

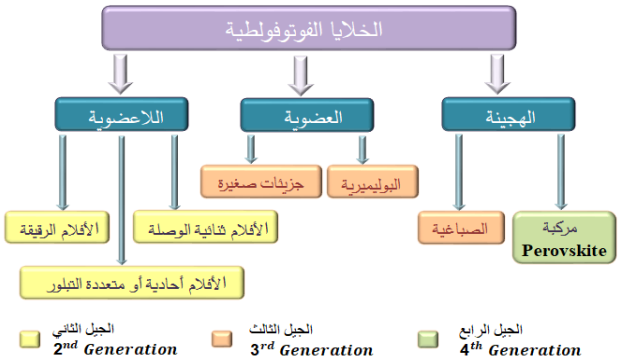
جدول 1: أشكال البولي أنيلين	
Leucoemeraldine	**ليكوامرالدين**
Emeraldine	**امرالدين**
Pernigraniline	**بريغالينين**



الشكل (1): الوحدة المتكررة في البولي أنيلين.

يدخل بوليمير الأنيلين في تركيب مواد كثيرة مستخدمة في حياتنا كالخلايا الشمسية، والمحسنات الحيوية والكيميائية، وهندسة النسج الحية وغيرها، ولكنه يعاني من تدني أدائه ورداءة ناقليته الكهربائية مع الاستخدام طويل الأمد وكانت أحد الحلول لتعزيز خصائصه الكهركيميائية هو اقترانه مع مواد كربونية. يعد الغرافين من بين أفضل المعززات لهذه الغاية نظراً لانخفاض كلفته وسعة سطحه وخصائصه الميكانيكية الفريدة [3] .

رُشحت الأفلام الهجينة المكونة من أكسيد الغرافين المرجع والبولي أنيلين للعديد من التطبيقات في المجالات الكهربائية أهمها الخلايا الشمسية التي تُعد المنافس الأبرز لمواد مختلفة استخدمت في تطبيقات الطاقات المتجددة، حيثُ تُصنف الخلايا الشمسية بشكل عام إلى أربعة أجيال كما هو مُبين في الشكل (2)، تشمل خلايا الجيل الأول خلايا السيلكون البلوري التي تمتاز بالقيمة الأعلى للكفاءة بين الخلايا الشمسية، ولكن تكلفة الإنتاج المرتفعة وجّهت الأبحاث نحو خلايا الأفلام الرقيقة التي تشمل خلايا السيلكون اللابلوري وخلايا أنصاف النواقل الأخرى ككبريتيد الكادميوم، والتي صُنفت كجيل ثاني حيثُ تتميز بانخفاض التكلفة ولكن بمردود أقل نسبياً. وضمن دائرة أجيال الخلايا الشمسية تم التوجه إلى الجيل الثالث الذي لم يصل إلى مرحلة النضوج الكامل والمختلف بالبنية وآلية العمل عن الأجيال السابقة حيثُ يشمل الخلايا العضوية والخلايا الشمسية الصباغية التي تمتاز بالتكلفة الأقل والمردود الجيد عند دراسة النسبة ما بين التكلفة والأداء[4]. تتكون الخلايا الشمسية المحسسة صباغياً من عدة طبقات أساسية هي الإلكترود الضوئي والذي يُمثل نافذة الخلية ويحضر من طبقة أكسيد نصف ناقل كأكسيد الزنك [5] تحمل جزيئات المادة الصباغية التي تعمل بدورها كمولد للإلكترونات في الخلية عند امتصاص الضوء [6]، وطبقة الإلكترود المضاد من البلاتين غالي الثمن. يهدف هذا العمل إلى تحضير فلم هجين من البولي أنيلين(PANI) وأكسيد الغرافين المرجع (rGO) على شرائح شفافة ناقلة كهربائياً من أكسيد القصدير والإنديوم (ITO) بطريقةٍ كيميائية جديدة وبسيطة لرفع خصائص البوليمير عن طريق بلمرة الأنيلين بوجود معلق اكسيد الغرافين المرجع وتطبيقه في الخلايا الشمسية الصباغية كالكترود مضاد عوضاً عن البلاتين نظراً للتوصل إلى مردود جيد مقارنة في الدراسات والمرجعيات السابقة [7].



الشكل (2): مخطط تمثيلي لأجيال الخلايا الشمسية.

1.1. دراسة أداء الخلية الشمسية المحسسة صباغياً

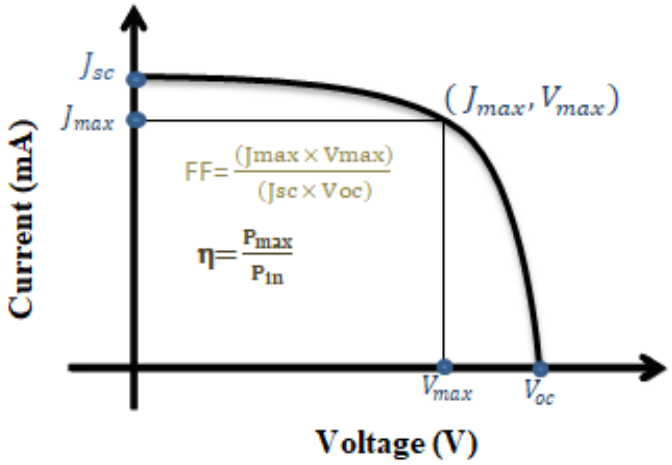
لدراسة أداء الخلية يتم حساب استطاعتها العظمى ومعامل الملء وكفاءة التحويل الشمسية [8] **كالتالي:**

1. الاستطاعة العظمى للخلية الشمسية:

يتم تحديدها عند إنتاج أقصى خرج للخلية من خلال تيار وكمون الدارة في الشروط المعيارية أي عند تعرُض الخلية لضوء بشدة 1000 W/m^2 كالتالي:

$P_{max} = I_m . V_m$ حيثُ: $I_m < I_{sc}$ و $V_m < V_{oc}$.

حيثُ: V_{oc} : فرق كمون الدارة المفتوحة، أما I_{sc}: تيار الدارة المقصورة. يوضح الشكل (3) منحني I-V لإيجاد معاملات الخلية الشمسية في حالة الإضاءة.



الشكل (3): منحني I-V لإيجاد معاملات الخلية الشمسية.

2. معامل الملء FF (Fill Factor):

يُعرف معامل الامتلاء للخلية الشمسية بأنَّه العلاقة التي تربط ما بين فرق كمون الدارة المفتوحة V_{oc} وتيار الدارة المقصورة I_{sc} والاستطاعة العظمى P_{max}، تؤخذ قيمته كنسبة مئوية ويتم تحديده بالعلاقة التالية:

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} . I_{sc}} = \frac{I_m . V_m}{I_{sc} . V_{oc}}$$

3. قياس كفاءة التحويل الشمسية (η):

يتم تقدير كفاءة التحويل الشمسي (المردود) كنسبة ما بين الاستطاعة الكهربائية لخرج الخلية إلى استطاعة دخل تعرضها للضوء P_{in} تحت الشروط المعيارية عند الاستطاعة العظمى P_{max}، وفق العلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{I_{SC} \times V_{OC} \times FF}{P_{in}}$$

المواد والطرائق:

1. المواد المُستخدمة:

ركائز ITO (zhang guo shujin) mm(1.1×6×40) وبمقاومة نوعية (40Ω.cm)، غرافيت (sigma<20micron)، حمض الكبريت (Merck)، برمنغنات البوتاسيوم (Avonchem)، نترات الصوديوم (Reidel)، ماء أكسجيني 33% (panreac)، أنيلين ثنائي التقطير(panreac)، إيثانول (Merck)، خلات الزنك المائية ($Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$)، ثلاثي ايثانول أمين(TEA)، ماء مقطر.

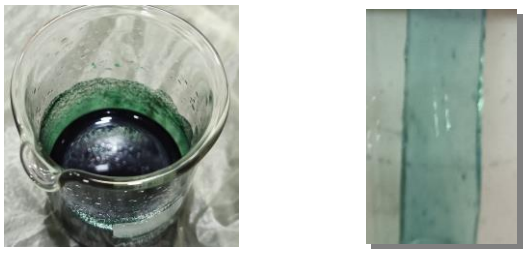
2. التوصيفات والطرائق:

مُسح طيف تحت الاحمر للأفلام PANI و PANI\rGO في المجال cm^{-1}(400-4000) بمطياف (FTIR) صنع (Shimadzu IRSpirit) و مسح الطيف المرئي VIS –فوق البنفسجي UV nm(200–800) بجهاز VIS – UV spectrophotometer طراز 5000 $Varian\ carry$، اختُبرت طبوغرافيا سطح فلم أوكسيد الزنك بمجهر القوة الذرية AFM صنع شركة $Nanosurf$السويسرية، طراز $easyScan2$ للحصول على طبوغرافيا السطح المستوي بمقدرة فصل ذرية تتراوح بين 0.2- 130nm، وبالمجهر الإلكتروني الماسح (FE-SEM) (MIRA 3 TESCAN) الملحق مع مطيافية EDX للتحليل العنصري للعينات. نُفذت القياسات الكهركيميائية في خلية ثلاثية الإلكترودات: 1. الإلكترود العامل: (ركازة ITO المعدل بالتركيبة الثنائية PANI\rGO)، 2. الإلكترود المساعد: (سلك من البلاتين)، 3. الإلكترود المرجعي: (إلكترود الفضة/كلوريد الفضة المعياري). اجريت القياسات الفولطاامبيرومترية الحلقية (CV) باستخدام محطة (IVIUMSTAT. XR) عند درجة حرارة المختبر في كهرليت مائي من 1 M H_2SO_4 مع 0.1 M KCl في المجال V (1 , 0.2−) عند سرعة مسح 50 mV/s.

العمل التجريبي:

1. تحضير فلم رقيق من البولي أنيلين

حضر فلم رقيق من البولي أنيلين بطريقة الترسيب على الموقع حيثُ تم إضافة 0.1M من الأنيلين إلى 10ml من الماء المحمض بحمض الكبريت بتركيز 0.01M، مع استخدام فوق كبريتات الأمونيوم كعامل مؤكسد بتركيز 0.1M، يُظهر الشكل (4) صور البوليمير المحضر كمحلول وفلم رقيق.

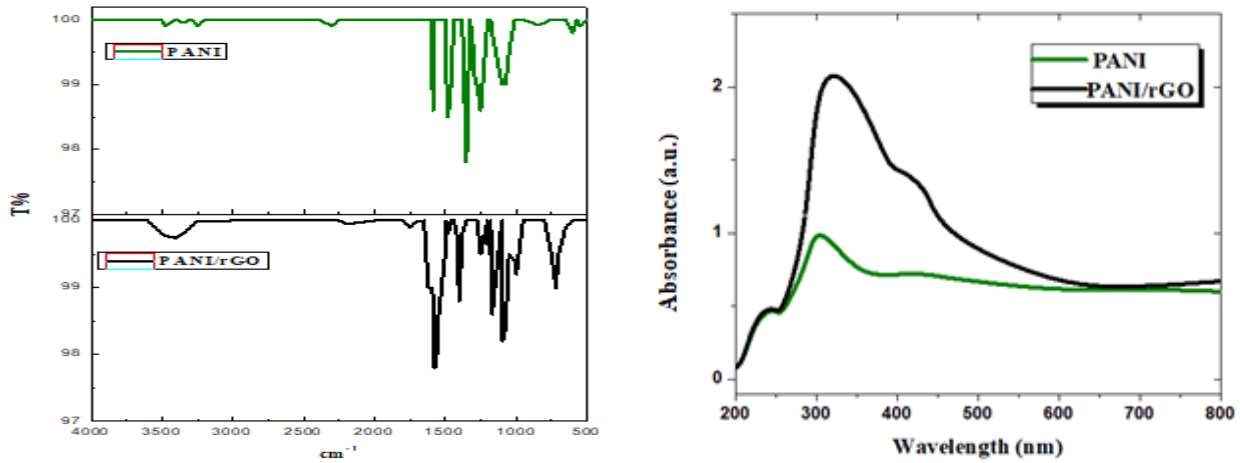


الشكل (4): صور البوليمير المحضر كمحلول وفلم رقيق.

2. تحضير فلم PANI \rGO بالبلمرة الكيميائية

استُخدم أكسيد الغرافين المرجع المحضر من أكسيد الغرفين GO بطريقة همر المعدلة والمرجع بالهدرازين (1µL لكل 3mg من GO). حُضر فلم PANI\rGO الهجين كيميائياً على ركازة ITO بإضافة أكسيد الغرفين المرجع بنسبة (1mg من rGo لكل 1mL من محلول الأنيلين) أثناء بلمرة الأنيلين.

تم توصيف كلٍّ من الفلم الهجين (PANI/rGO) وفلم البولي أنيلين بمطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) ومطيافية الأشعة فوق البنفسجية (UV - Vis)، يظهر الشكل (5) كلاً من طيف الامتصاصية الضوئية في المجال فوق البنفسجي والمجال المرئي (200- 800nm) ومنحنيات الطيف تحت الأحمر (FTIR) في المجال ($4000-400cm^{-1}$) لفلم البوليمير والفلم الهجين.



(a) (b)

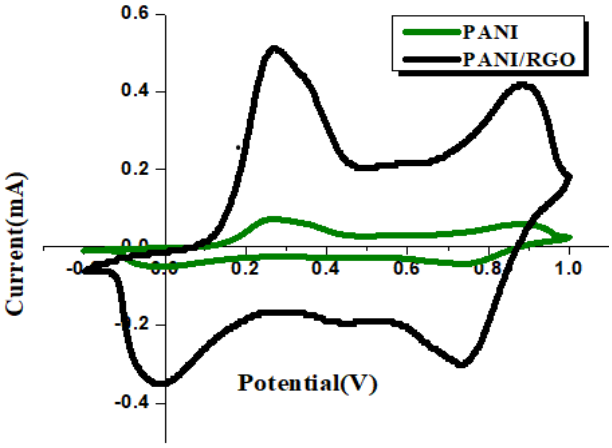
الشكل (5): a) طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR b) طيف الامتصاص لكل من فلم الـ PANI والفلم الهجين PANI /rGO

يُلاحظ ن الشكل (5) ظهور قمماً تُعزى لزمر كربون مترافقة تدل على تشكل البوليمير على سطح أوكسيد الغرافين المرجع، كما يشير الشكل (5-a) إلى ظهور عصابة عند $1137\ cm^{-1}$ تعود للزمرة (C=N) وعصابة عند $1340\ cm^{-1}$ تعود الى زمرة (C-N) لفلم PANI. [9]، بينما يُلاحظ من طيف الفلم الهجين الشكل (5-a) قمماً تعود للزمر المرافقة لحلقة الكينويد (C=N) $1600cm^{-1}$ وزمر (C=C) $1461\ cm^{-1}$ مما يدل على اندماج البوليمير وأكسيد الغرافين المُرجع كما هو مبين في الجدول (2). يُبين الشكل (5-b) ظهور قمة واضحة عند 300 nm بسبب الانتقال $\pi - \pi^*$ في حلقة البنزوئيد وقمة ككتف عند 450 nm لفلم الـ PANI تزداد شدتهما في طيف امتصاص الفلم الهجين لسهولة النقل الالكتروني وتزايد برتنة البوليمير [10].

جدول 2: الزمر المميزة بطيف FTIR لكل من لفلم البولي أنيلين والفلم الهجين.

الزمرة	العدد الموجي (cm^{-1})	
C=N	1137	فلم البولي أنيلين
C–N	1340	
C=N	1600	الفلم الهجين
C=C	1461	

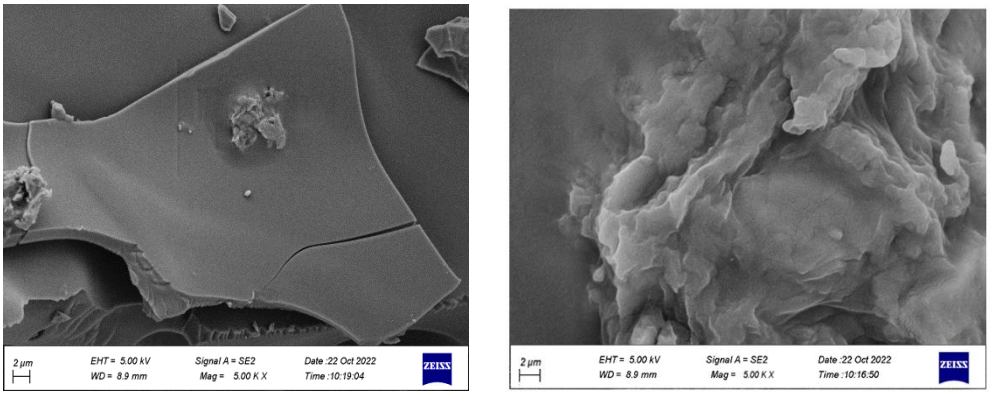
دُرست الخصائص الكهركيميائية للأفلام المُحضرة كما يظهر في الشكل (6) باستخدام القياس الفولطاأمبيرومتري الحلقي (CV) للتأكد من توافق قمم المنحني الفولطاأمبيرومتري مع التحولات بين أشكال البولي أنيلين المختلفة، ومساهمة أكسيد الغرافين المرجع في عملية النقل الإلكتروني وخفض المقاومة الأومية للتركيبة، أجريت القياسات في المجال V (1 , 0.2-) عند سرعة مسح 50 mV /s .



الشكل(6): المنحني الفولطاأمبيرومتري الحلقي لفلم البوليمير الصرف والفلم الهجين.

يُلاحظ من الشكل (6) زيادة قيم التيار قرابة سبعة أضعاف عما كانت عليه في فلم PANI مما يدل على ارتفاع الناقلية الكهربائية للفلم الهجين وبالتالي تحسن خصائصه الكهربائية [11]. مما يدل على نجاح طريقة التحضير وتحسين خصائص البوليمر وهذا يجعل الفلم مرشحاً للاستخدام في الخلايا الشمسية الصباغية.

تم فحص مورفولوجيا السطح لكل من فلم البولي أنيلين والفلم الهجين باستخدام المجهر الالكتروني الماسح (FE -SEM)، يُظهر الشكل (7) صور المجهر عند درجة التكبير 200nm. يُلاحظ تشكل أكسيد الغرافين المرجع على شكل صفائح بسماكة نانوية نحو 80nm وتشكل البوليمير على سطحه مما يدل على اندماج البنيتين.



(a) **(b)**

الشكل(7): صور FE– SEM a) الفلم الهجين PANI\rGO، b) فلم البولي أنيلين.

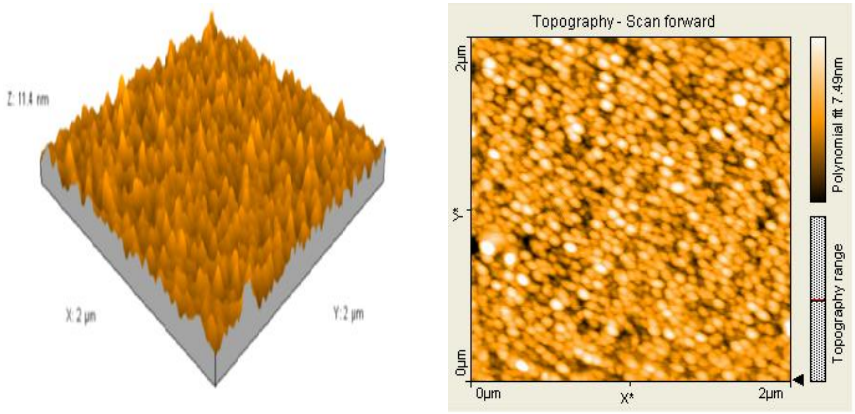
3. تحضير الخلية الشمسية الصباغية ودراسة أداءها

لتحضير الخلية الشمسية الصباغية واستخدام الفلم الهجين المحضر كالكترود مضاد يجب توفر الالكترود الضوئي الذي قمنا بتحضيره من أوكسيد الزنك المحمل بصباغ التوت الشامي.

3.1. تحضير فلم أوكسيد الزنك النانوي:

حُضر فلم الأوكسيد بسماكة نحو 95nm بتقنية السول جل (Sol-Gel) وباستخدام جهاز التوضيع بالغمس بعد أمثلة الشروط التجريبية باستعمال محلول خلات الزنك المائية ($Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$) كمصدر لشوارد الزنك بتركيز 0.2M ، واختيار الميثانول كمادة محلة مع إضافة كمية من TEA كعامل مثبت ومحفز، وحُددت قيمة سرعة سحب الركازة الزجاجية 1 mm/s ولمدة زمنية لا تتجاوز دقيقة واحدة، وبعد انتهاء عملية التوضيع جُفف الفلم بدرجة حرارة $100C^0$ لمدة 10 min، كررت عملية الغمس والتجفيف خمس مرات متتالية بهدف الحصول على غشاء بسماكة متجانسة، بعد ذلك وضعت العينات المحضرة بدرجة الحرارة $500C^0$ لمدّة 2 h [12].

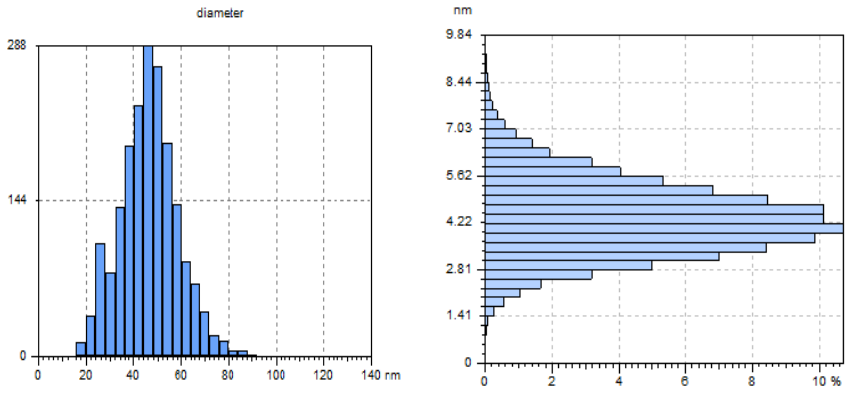
تم دراسة مورفولوجيا السطح لفلم أوكسيد الزنك بواسطة مجهر القوة الذرية (AFM) كما موضح في الشكل (8)، وباستخدام برنامج خاص لمعالجة الصور (nanosurf easyscan) مُلحق بالمجهر، وجرى حساب كلاً من متوسط أقطار وارتفاعات الحبيبات المتشكلة في فلم ZnO.



(b) (a)

الشكل (8): صور AFM ثلاثية وثنائية البعد (2µm × 2µm) لسطح فلم ZnO.

يُبيّن الشكل (9) منحنيات التوزع الإحصائي لأقطار وارتفاعات حبيبات الفلم، حيثُ يُلاحظ تشكل حبيبات نانوية بقطر وسطي 50nm وارتفاع نحو 4nm.

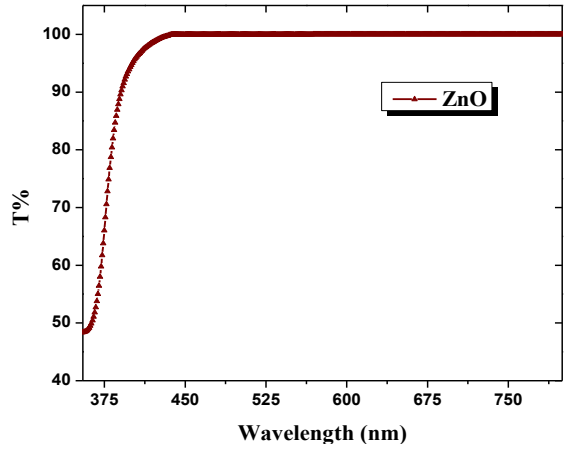


(b) (a)

الشكل (9): مخططات توزع أقطار وارتفاعات الحبيبات لفلم ZnO المحضر.
a): توزع ارتفاعات الحبيبات، b): توزع أقطار الحبيبات.

توضح صور مجهر القوة الذرية لفلم أوكسيد الزنك الشكل (8) ومنحنيات التوزع الإحصائي لأقطار وارتفاعات الحبيبات الشكل (9) تشكل حبيبات نانوية تأخُذ شكلاً كروياً مِن حيثُ الشكل وتوزع الأبعاد وكثافة الحبيبات وبقطر وسطي 50nm وارتفاع نحو 4nm.

يُبين الشكل (10) طيف النفوذية الضوئية للوسط الفعال للخلية ضوئياً في المجال فوق البنفسجي والمجال المرئي (350-800nm) حيثُ وصلت نفوذيته نحو 99% في المجال المرئي مما يُرشحه ليكون وسط شفاف جيد لتلك الخلية [13] .

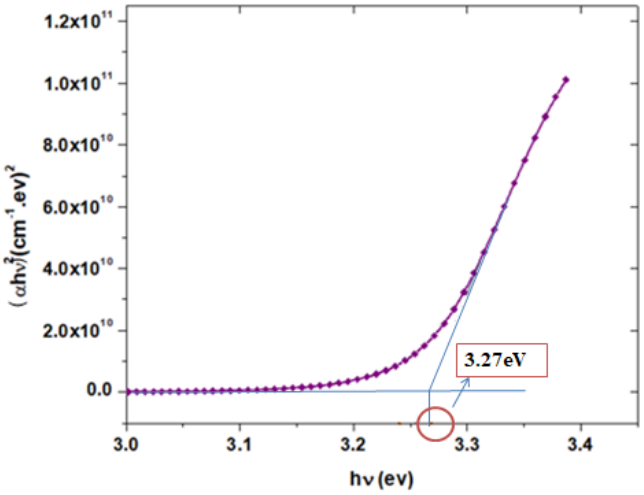


الشكل (10): طيف النفوذية الضوئية UV–VIS للوسط الفعال المُحضر.

يرتبط معامل الامتصاص مع طاقة الفوتون والفجوة الطاقية من أجل الانتقال المباشر المسموح بالعلاقة التالية [9]:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{1/2}$$

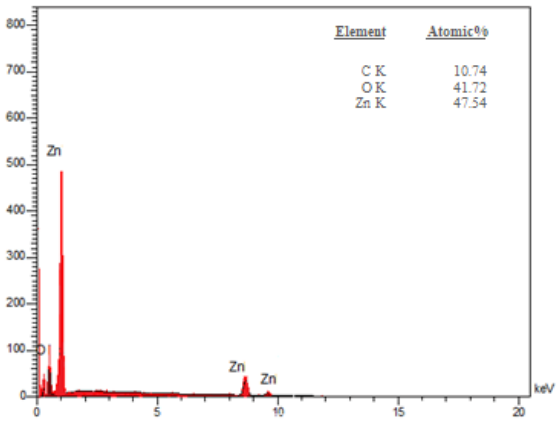
حيثُ: α: معامل الامتصاص (cm^{-1})، $h\nu$: طاقة الإشعاع الساقط (eV)، E_g: الفجوة الطاقية (eV) . حُسبت قيمة الفجوة الطاقية الضوئية المباشرة E_g لفلم أكسيد الزنك المُحضر من العلاقة السابقة، وذلك بأخذ قيمة نقطة تقاطع الجزء الخطي للمنحني البياني الممثل لتغيرات قيمة $(\alpha h\nu)^2$ مع المحور $h\nu$ الممثل لطاقة الفوتون الساقط في نقطة $((\alpha h\nu)^2 = 0)$ كما هو مبين في الشكل (11).



الشكل (11): المنحني البياني $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $h\nu$ لغشاء ZnO المُحضر.

بلغت قيمة الفجوة طاقية لفلم أكسيد الزنك نحو 3.27eV وهي مُقاربة لقيمة الفجوة الطاقية لمادة أوكسيد الزنك المذكورة في الدراسات المرجعية [14].

شُخص الفلم المحضر بواسطة جهاز التحليل العنصري EDX الشكل (12)، حيث يَدُّل الطيف على وجود عنصري الأكسجين والزنك.

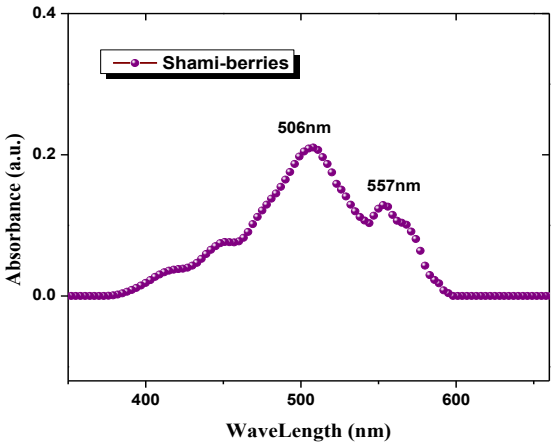


الشكل (12): طيف الـ EDX لفلم الـ ZnO المُحضّر وجدول معطيات التحليل العنصري.

3.2. تحضير الصباغ:

حُضر الصباغ العضوي الطبيعي من التوت الشامي وذلك بطحن 100g وزناً من الثمار الطبيعية في 10ml من محلول الماء المقطر والإيثانول وحمض كلور الماء (80%Ethanol و 1%HCl)، واستُخدمت المثفلة للتخلص من البقايا العالقة ورُشح المحلول الناتج بواسطة قمع بوخنر.

جرى توصيف الصباغ المحضر ضوئياً ضمن المجال (UV – VIS) كما هو مبين في الشكل (13).



الشكل (13): طيف الامتصاصية الضوئية لصباغ التوت المُحضر.

يشير الطيف إلى وجود قمتي امتصاص عند الطولين الموجيين 506nm وَ 557nm، حيثُ بلغت قيمة الامتصاصية الموافقة 22% وَ13% على الترتيب.

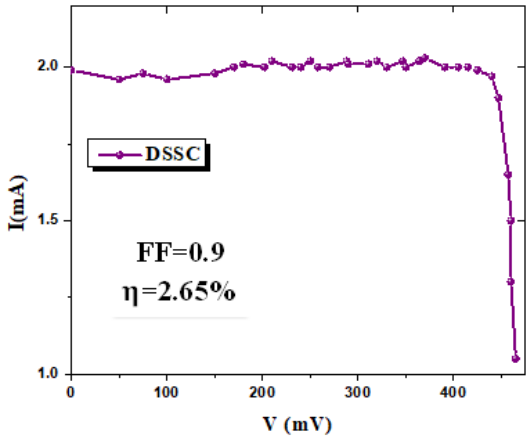
3.3. تحضير الالكترود الضوئي بطريقة الغمس

وضع فلم أكسيد الزنك المُحضر بالمجففة لمدة $10\ min$ قبل تحميل المادة الصباغية عليه، غُمست الركازة مباشرة في محلول الصباغ لمدة 24 h وذلك للحصول على امتزاز كامل للصباغ على سطح الفلم، وسُحبت الركازة المحملة بالأكسيد النانوي ZnO والصباغ من المحلول، وغُسلت بالماء المقطَّر والايثانول لعدّة مرات للتخلُص من أيَّ جزيئات غير مرتبطة.

3.4. دراسة أداء الخلية الشمسية الصباغية المحضرة (Dye Sensitized Solar Cell (DSSC))

حُضرت الخلية بمساحة فعالة ($0.35cm^2$) ودُرس أداءها بتعريضها للشمس بكثافة ضوئية واردة نحو $1000\pm30W/m^2$ حددت بالاستعانة ببرامج محاكاة [15] تعطي قيمة الكثافة الضوئية كتابع للموقع الجغرافي والوقت ضمن النهار، كما تم تكرار القياس ثلاث مرات خلال ثلاثة أيام وأُخذت القيم الوسطية.

يُبين الشكل (14) أداء الخلية المحضرة من الفلم الهجين المحضر PANI\rGO والالكترود الضوئي المحضر المحمل بصباغ التوت الشامي في حالة الإضاءة. يُلاحظ أن مردود الخلية بلغ نحو 2.65% ومعامل الملء 0.9، تعد هذه القيمة جيدة ضمن نطاق هذا الجيل من الخلايا [16.17.18].



الشكل (14): منحني (I-V) للخلية الشمسية المُحضرة

الاستنتاجات والتوصيات:

حضر بنجاح فلم هجين من بوليمير ناقل وأكسيد الغرافين المرجع كيميائياً وتم الحصول على خصائص كهركيميائية محسنة من خلال التآزر بين المادتين، حيث بيَّن كل من طيف النفوذية الضوئية وطيف تحت الاحمر (FTIR) ظهور قمم تُعزى إلى زمر كربون مرافقة تدل على تشكل PANI على سطح أكسيد الغرافين المرجع. كما بيَّن قياس الفولطأمبيرومتري الحلقي للفلم الهجين PANI \rGO ازدياد قيمة التيار قرابة سبعة أضعاف عما كانت عليه في فلم PANI وبالتالي ارتفاع الناقلية الكهربائية في الفلم الهجين وهذا يدل على تحسن خصائصه الكهربائية ونجاح طريقة التحضير المتبعة، تم استخدام الفلم الهجين كإلكترود مضاد في الخلية الشمسية الصباغية حيث حُضر الالكترود الضوئي من أكسيد الزنك النانوي وتم الحصول على حبيبات نانوية البنية كروية الشكل أبعادها نحو 50nm بنفوذية عالية ضمن المجال المرئي بلغت نحو 99%، وبلغ مردود الخلية الشمسية المحضرة إلى 2.6% ومعامل ملء 0.9 وذلك بتكلفة منخفضة وأداء جيد. قد تؤثر طريقة التحضير المتبعة على مردود الخلايا الشمسية لذلك نوصي بتحضير فلم هجين بطريقة كهركيميائية واختبار تغير مردود الخلية، إضافة إلى أن موفولوجيا الأفلام كاستخدام أكسيد الزنك النانوي على شكل قضبان نانوية قد يكون عامل مؤثر.

المراجع

1. .Koren A. A correlative study of polyaniline electropolymerization and its electrochromic behavior. Journal of The Electrochemical Society. 2020 Oct; 167:106504
2. .Li H, Song J, Wang L, Feng X, Liu R, Zenng W, Huang Z, Ma Y, Wang L. Flexible all -sold-state supercapacitors based on polyaniline orderly nanotubes array. Nanoscale. 2017 Oct; 193:200
3. .Xiaolu H, Nantao Hu. Reduced graphene oxide-polyaniline hybrid: preparation, characterization and its application for ammonia gas sensing. J. matar.chem. 2012;22488–95.
4. Sharma K, Sharma V and Sharma SS. Dye-Sensitized Solar Cells: Fundamentals and Current Status. Nanoscale Res Lett. 2018 Nov 28; 13:381.
5. Wibowo A, Maarsudi M, Amal M, Ananda M, Stephanie R, Ardy H, Diguna L. ZnO nanostructured materials for emerging solar cell application. 2020 Nov; 42838:42859.
6. Ossai A, Alabi A, Ezike S, Aina A. Zinc Oxide-Based Dye-Sensitized Solar Cells using Natural and Synthetic Sensitizers. Journal Pre-proof. 2020 Nov; S2666-0865(20)30046-1
7. Prouskas C, Mourkas A, Zois G, Lidorikis E, Patsalas P. A New Type of Architecture of Dye-Sensitized Solar Cells as an Alternative Pathway to Outdoor Photovoltaics. Energies. 2022 Mar; 15:2486.
8. Park K, Kim SJ, Gomes R, Bhaumik A. High performance dye-sensitized solar cell by using porous polyaniline nanotubes as counter electrode. Chem Eng J [Internet]. 2014; Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.08.105
9. Kumar NA, Choi H, Shin YR, Chang DW, Dai L. Polyaniline-Grafted Reduced Graphene Oxide for Efficient Electrochemical. 2012;(2):1715–23.
10. Sheng K, Bai H, Sun Y, Li C, Shi G. Layer-by-layer assembly of graphene / polyaniline multilayer films and their application for electrochromic devices. Polymer (Guildf) [Internet]. 2011;52(24):5567–72. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2011.10.001
11. Pirzado A, Normand F, Romero T, Paszkiewicz S, Papaefthimiou V, Ihiawakrim D, Janowska I. Few-Layer Graphene from Mechanical Exfoliation of Graphite-Based Materials: Structure-Dependent Characteristics. ChemEngineering. 2019 Apr; 3:37

12. عامر، علا. (2019)، دراسة إمكانية تحضير خلايا شمسية صباغية باستخدام بنى نانوية من أوكسيد الزنك. رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، قاعدة بيانات مديرية البحث العلمي .http://damascusunivertsity.edu.sy\srd

13. Morales P, Peraza A, Olivas O, Parra G, Lopez Y, Carmona V, Galvez H, Chinchillas M. ZnO Semiconductor Nanoparticles and Their Application in Photocatalytic Degradation of Various Organic Dyes. Materials. 2021 Des 14, 7537
14. Alsaad A, Bataineh Q, Ahmad A, Telfah A. Optical band gap and refractive index dispersion parameters ofboron-doped ZnO thin films: A novel derived mathematical model from the experimental transmission spectra. Optik - International Journal for Light and Electron Optics. 2020 Mar 211:16464
15. https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/calculation-of-solar-insolation.
16. Philip. M.R, Nguyen. P. T, Babu. R, Krishnakumar. V, Thang. H. Polyol Synthesis of Zinc Oxide-Graphene Composites: Enhanced Dye- Sensitized Solar Cell Efficiency. 2018;52–60.
17. Tai Q, Chen B, Guo F, Xu S, Hu H, et al. In Situ Prepared Transparent Polyaniline Electrode and Its Application in Bifacial. 2011;(5):3795–9.
18. Ghann, W, Kang H, Uddin J, Chowdhury F, Khondaker S, Moniruzzaaman M, Kabir M, Raman M. Synthesis and characterization of reduced graphene oxide and their application in dye-sensitized solar cells. ChemEngineering. 2019, 3(1),7.