

تعزيز استجابة التحويل الكمي للخلية الشمسية متعددة الطبقات ذات النقاط الكمومية الحساسة للضوء AL/ZnSe/CdSe(MPA)QDs/CdS/FTO

الدكتور قيصر صلاح اليماني

أستاذ مساعد في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة الفرات

الملخص

تم تحضير خلية شمسية ذات نقاط كمية QDs متعددة الطبقات أحد أقطابها شفاف FTO والأخر عاتم AL. أبدت الميزة I-V للخلية المحضرة ثبات التيار ($I=0.012\text{mA}$) عند الكمونات المنخفضة ، أعلى قيمة لتيار الخلية وافقت الكمون 8.4 v كانت استطاعة الحمل الاعظمي $0.1\mu\text{W}$. ومروود هذه الخلية %7.14 ، بينت دراسة الاستجابة تيار الخلية للطول الموجي الساقط عليها وجود قمتين للاستجابة الأولى كانت عند منطقة بداية الطيف المرئي عند الطول الموجي 450nm وافقت شدة تيار 0.038mA والقمة الثانية في منطقة اللون الأحمر عند الطول الموجي 610nm وافقت شدة تيار 0.021mA. ازداد معدل التحويل الكوانتي مع زيادة الطول الموجي ضمن المجال المرئي ، كان معدل التحويل الكوانتي أكبر ما يمكن عند الطول 610 nm حيث بلغ التحويل الكوانتي %21.58.

الكلمات المفتاحية : AL, ZnSe ،CdSe(MPA) ، خلايا شمسية QDs ، FTO ، التحويل الكمي.

1- مقدمة :

تعرف الخلايا الكهروضوئية بأنها أجهزة إلكترونية ضوئية مصممة لتحويل الطاقة الملتقطة من الفوتونات الساقطة إلى طاقة كهربائية [K.alyamani,2023].

في السنوات الأخيرة الماضية كانت الخلايا الشمسية تعتمد على مركبات انصاف النواقل المركبة وخصوصاً عناصر المجموعتين الثانية - السادسة وعناصر المجموعتين الثالثة والخامسة من الجدول الدوري. تعتبر انصاف النواقل المركبة CdTe CdSe, CdS من أهم انصاف النواقل المستخدمة في صناعة الخلايا الشمسية لأنه يمكن التحكم بعرض الفجوة الطاقية من خلال تحضير أنظمة جديدة من أنصاف النواقل ذات النقاط الكمية. جذبت النقاط الكمية الكثير من الاهتمام بسبب تطبيقاتها الفريدة في الأجهزة الكهروضوئية (خلايا شمسية - حساسات ضوئية - أجهزة استشعار) [K.alyamani, 2021].

يمكن تصنيف الخلايا الشمسية بحسب المواد الفعالة المستخدمة فيها الى خمسة أصناف رئيسية : النوع الأول الخلايا الشمسية التي تعتمد على السليكون، النوع الثاني الخلايا الشمسية التي تعتمد على مركبات GaAs، النوع الثالث الخلايا الشمسية الصباغية (الاصبغة العضوية)، النوع الرابع الخلايا الشمسية الجزيئية والنوع الخامس الخلايا الشمسية المعتمدة على النقاط الكمومية QDs [J. Jiang.2016].

تطورت الخلايا الشمسية من حيث بنيتها وعدد طبقاتها والمواد الفعالة المستخدمة بهدف زيادة التحويل الكوانتي وزيادة كفاءتها ومردودها وزيادة استقرارها وكذلك بسبب تكلفتها المنخفضة ومساحة سطحها العالية ومردودها الكمي. حيث تتميز المواد ذات النقاط الكمية متعددة الطبقات في الخلايا الشمسية QDs، بتوليد الإثارة المتعددة (MEG) في حدوث عدد قليل من (الانتقالات الالكترونية) عمليات نقل الإلكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية عن طريق امتصاص فوتون واحد فقط مما يزيد من الامتصاص في الخلية الشمسية ويؤدي بدقة إلى أداء عالي للخلية الشمسية [DA Neaman, 2011].

يتم استخدام العديد من النقاط الكمية QDs من أنصاف النواقل في تحضير الخلايا الشمسية مثل: CdTe، CdSe، CdS، ZnSe، PbS. تستخدم العديد من الطرق لتحضير طبقات الخلايا الشمسية وترسيبها تتضمن الترسيب بالبخ الحراري (تحضير FTO) والترسيب باستخدام الطريقة الكهروكيميائية (الترسيب الايوني) (تحضير CdS) والتحضير باستخدام دورة التبريد المرتد والمزج (تحضير CdSe) والترسيب بالسبين، وأخيراً التحضير باستخدام المحاليل الكيميائية (تحضير ZnSe) والترسيب بالغمس [K alyamani,2021].

2- أهمية البحث وأهدافه:

تحضير خلية شمسية متعددة الطبقات تعتمد على النقاط الكوانتية لمركب CdSe كمادة فعالة ذات تحويل كوانتي مرتفع واستجابة ترددية عالية.

3- المواد الكيميائية المستخدمة:

ثيو كبريتات الصوديوم، كلوريد القصدير، كلوريد الحديد، الماء المقطر، بوروهيدريد الصوديوم، السيلينيوم، اسيتات الكادميوم، ميتاابرونك اسيد، ايتلين غليكول، هيدرازين دي هيدرات، الإيثانول، دي ايتيل امين، أوكسيد التريليوم، نترات الفضة، شرائح زجاجية، شرائح ألمنيوم.

4- الأجهزة والأدوات:

بيل مول الحراري، مقاومة متغيرة $100-2000\Omega$ ، خلاط مغناطيسي، شرائح زجاجية، أفومتر متعدد الاستخدام، دورة تبريد مرتد، سخان حراري، ملاقط معدنية.

5- الدراسة التجريبية:**5-1- تحضير شرائح الألمنيوم:**

تم اخذ شريحة من الألمنيوم ذات نقاوة عالية %98 ومن ثم قسمت الى شرائح (طول 3cm وعرض 0.5cm). تم تنظيف الشرائح المحضرة باستخدام الماء المقطر ثم وضعها في محلول حمض الخل الممدد باستخدام جهاز التنظيف بالأمواف فوق الصوتية ultrasonic لمدة عشرين دقيقة بتردد 470Hz بغية تنظيف السطح الخارجي وتنشيطه كيميائياً [K Alyamani.2021].

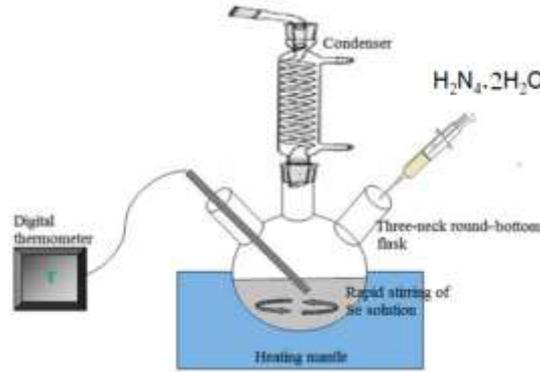
5-2- تحضير القطب الشفاف FTO:

تم اخذ مجموعة من الشرائح الزجاجية وتنظيفها باستخدام كرومات البوتاسيوم لمدة ساعتين ثم وضعت الشرائح الزجاجية في حمض الفلور الممدد لمدة عشر دقائق لتخريش السطح الخارجي للشرائح وبعد تمام التجفيف تم وضع الشرائح الزجاجية على سخان كهربائي تحريضي لرفع درجة حرارة السطح الخارجي حتى الوصول الى الدرجة $500C^{\circ}$. تم حل 5gr من كلوريد القصدير في 20ml من ايتيلين غليكول مع إضافة بضع قطرات من حمض الفلور HF الى المحلول. عند ارتفاع درجة حرارة السطح الخارجي للشرائح الزجاجية تم بخ محلول كلوريد القصدير $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ على الشرائح الزجاجية عدة مرات وبفترات متباعدة خمس دقائق بين كل بختين مع بقاء الشرائح الزجاجية شفافة ومن ثم تم قياس المقاومة الكهربائية للشرائح الزجاجية حيث تراوحت قيم المقاومات من $(13 - 40)\Omega$ [k.alyamani.2019].

3-5- تحضير الطبقة الفعالة في الخلية الشمسية CdSe(MPA)QDs

باستخدام دورة التبريد المرتد عند الدرجة $80^{\circ}C$ لمدة 6 ساعات تم تحضير النقاط الكوانتية من CdSe(MPA)QD (3-mercaptopropionic acid: MPA) وفق المراحل الآتية: تم حل 18.3gr من اسيتات الكادميوم في 100ml من الماء المقطر باستخدام خلاط مغناطيسي، أضيف الى المحلول السابق 10.6gr من ميتاابرونك اسيد 3-Mercaptopropionic acid مع التحريك المستمر حتى تمام الانحلال يتشكل في نهاية التفاعل محلول أبيض حليبي نسميه المحلول (A). تم أخذ 7.9 gr من بودرة السيلينيوم النقي Se ثم وضعت في 100ml من الماء المقطر، ثم أضيف الى المزيج السابق 25 ml من ايتلين غليكول ثم وضع المزيج في حوالة زجاجية ثلاثية الرؤوس وتُركب على دورة تبريد مرتد عند الدرجة $80^{\circ}C$ لمدة 6 ساعات،

يضاف اليها 25ml من هيدرازين دي هيدرات $H_2N_4 \cdot 2H_2O$ الى دورة التبريد المرتد على عدة مراحل، بنهاية التفاعل يتشكل محلول احمر خمري red wine نسميه المحلول (B). تُحضر النقاط الكوانتية من CdSe(MPA) بمزج المحلول الأول (A) مع المحلول (B) بنسبة 1/3 من المحلول الأول الى المحلول الثاني فيتشكل محلول أصفر مخضر اللون يتحول لونه للون الأحمر مع زيادة الزمن نتيجة زيادة حجم العنقود الذري المتشكل [Batal M.A and Al Yamani K.2016].



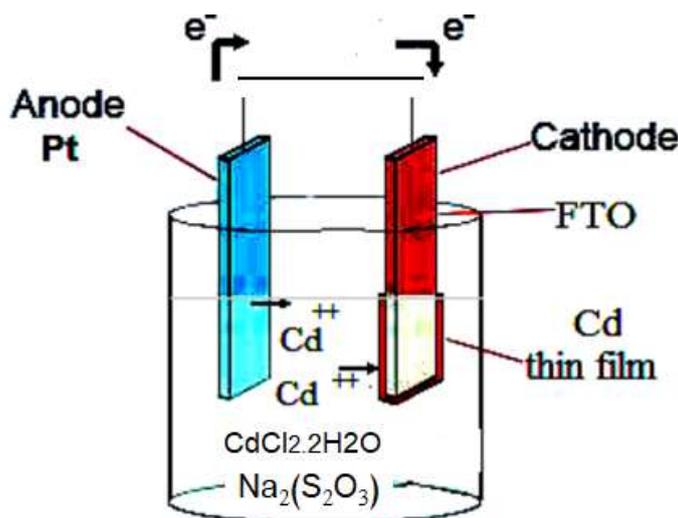
الشكل (1) تحضير مركب السيلينيوم باستخدام دورة التبريد المرتد.

5-4- تحضير الطبقة الناقلة للثقوب ZnSe:

تم استخدام طريقة المحاليل الكيميائية لتحضير محلول من نصف الناقل ZnSe حيث تم حل 4 gr من اسيتات الزنك المائية $Zn(CH_3COO)_2$ في 100ml من الماء المقطر تم إضافة 1gr من بروهيدريد الصوديوم $NaBH_4$ الى المحلول السابق مع التحريك المستمر بواسطة خلاط مغناطيسي. تم إضافة 30ml من محلول السيلينيوم Na_2SeO_3 المحضر مسبقا مع التحريك المستمر يتشكل في نهاية التفاعل محلول أصفر مائل للون البرتقالي من ZnSe.

5-5- تحضير الطبقة الناقلة للإلكترونات CdS:

تم استخدام طريقة الكهروكيميائية (الايونية) في ترسيب طبقة من CdS فوق شريحة من الزجاج الشفاف الناقلة من النوع n (مقاومتها 24Ω) وفق الاتي: تم حل 18 gr من كلوريد الكاديوم في 100ml الماء المقطر مع إضافة 0.01gr من ثيو كبريتات الصوديوم $Na_2(S_2O_3)$ باستخدام الخلاط المغناطيسي مع إضافة كمية من حمض الكبريت ليصبح الوسط حمضي $PH=2$. تم استخدام شريحة من FTO كقطب سالب كما غمست قطعة من البلاتين كقطب موجب وتم وصل القطبين بسلك خارجي حيث تم تسخين المحلول الى الدرجة 50C مع التحريك المستمر باستخدام الخلاط المغناطيسي لمدة 4 ساعات. بنهاية التفاعل تم تشكيل طبقة من CdS ذات اللون الأصفر فوق طبقة FTO. يبين الشكل (2) المخطط الصندوقي لألية التحضير [k.alyamani 2021].

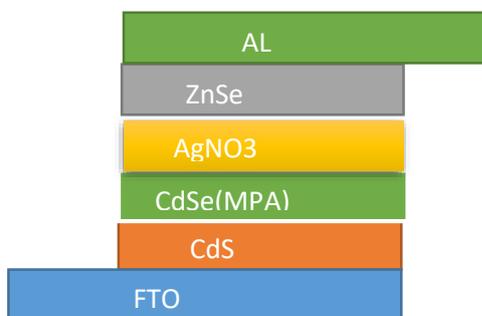


الشكل (2) آلية ترسيب الطبقة الناقلة للإلكترونات CdS فوق القطب الشفاف FTO.

6-5- ترتيب طبقات الخلايا الشمسية:

تم تشكيل طبقات الخلية الشمسية على النحو الآتي :

1. باستخدام طريقة السبين تم ترسيب طبقة كبريتيد الكاديوم CdS فوق القطب الشفاف FTO ومن ثم عُولجت الشريحة الزجاجية حرارياً باستخدام فرن حراري حتى الدرجة 400°C ودُرست خصائصها البنيوية والضوئية نسميها الشريحة (1).
2. باستخدام طريقة السبين رُسبت طبقة من النقاط الكوانتية CdSe(MPA) أيضاً فوق الشريحة (1) ثم جففت باستخدام مجففة عند الدرجة 50°C لمدة ساعتين.
3. بطريقة الغمس تم ترسيب طبقة من ZnSe (نصف ناقل من النوع P) فوق شريحة الألمنيوم وتم إضافة طبقة من AgNO_3 كطبقة الكتروليت ناقل من النوع P نسميها الشريحة (2) .
4. تم عملية تثبيت الشريحتين (1) و(2) كما يبين الشكل (3) بواسطة ملاقط معدنية و دُرست الخصائص الضوئية لهذه الخلية، حيث أن التحويل الكوموي يمكن من تصميم الخلايا الشمسية المترادفة، والتي تتضمن طبقات أشباه الموصلات المتعددة ذات فجوات طاقة مختلفة لالنتقاط طيف أوسع من ضوء الشمس . وهذا يزيد من امتصاص الضوء ويخفف من الخسائر الناجمة عن التحلل الحراري، مما يتيح كفاءة تحويل طاقة أعلى ومردود تحويل طاقي أعلى

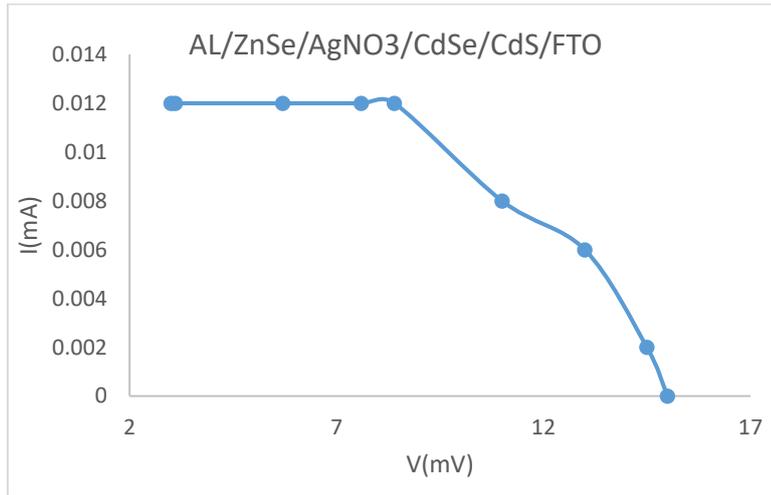


الشكل (3) المخطط الصندوقي للخلية الشمسية

6- القياسات والنتائج:

6-1- الميزة I-V في اضاءة الغرفة :

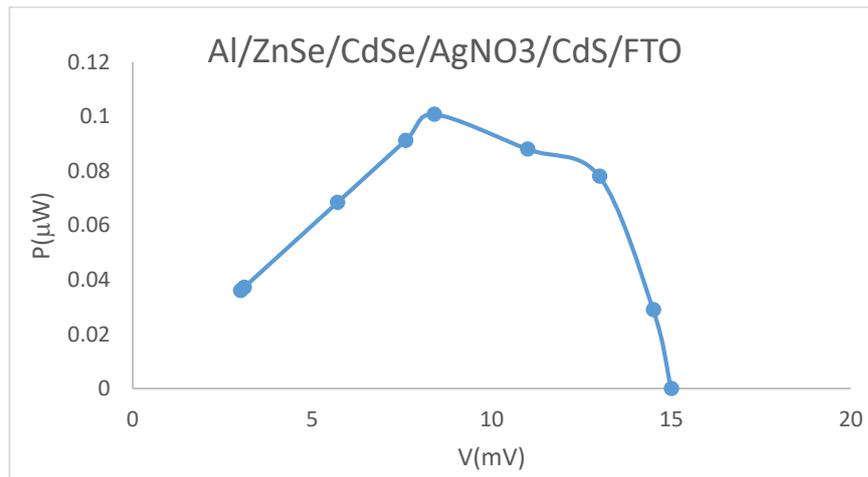
تم دراسة الميزة I-V في حالة الإضاءة حيث كانت الاستطاعة الساقطة على سطح الخلية $P_{in}=0.1$ وبتبديل قيمة الحمل المطبق على الخلية من $100-2000\Omega$. يبين الشكل (4) هذه الميزة حيث تبدو قريبة من الميزة المثالية للخلية الشمسية. حيث كانت قيم شدة التيار في الدارة المقصورة 0.04 mA وقيمة جهد الدارة المفتوحة 55mV .



الشكل (4) الميزة I-V للخلية الشمسية.

1- تغيرات استطاعة الخلية كتابع لجهدا عند اضاءة الغرفة:

تم رسم تغيرات استطاعة الخلية الشمسية كتابع لجهدا عند تغير قيمة الحمل المطبق على الخلية ($100-2000\Omega$) في حالة الانارة (ضوء الغرفة). يبين الشكل (5) هذه التغيرات وهذه التغيرات قريبة من شكل تغيرات الخلية المثالية



الشكل (5) تغيرات استطاعة الخلية الشمسية كتابع لجهدا .

بحساب عامل الملء للخلية الشمسية [De la Fuente.2013]:

$$F_F = \frac{P_{max}}{I_{sc}V_{oc}} = \frac{0.1\mu\text{W}}{0.04\text{mA} \times 55\text{mV}} = 0.45$$

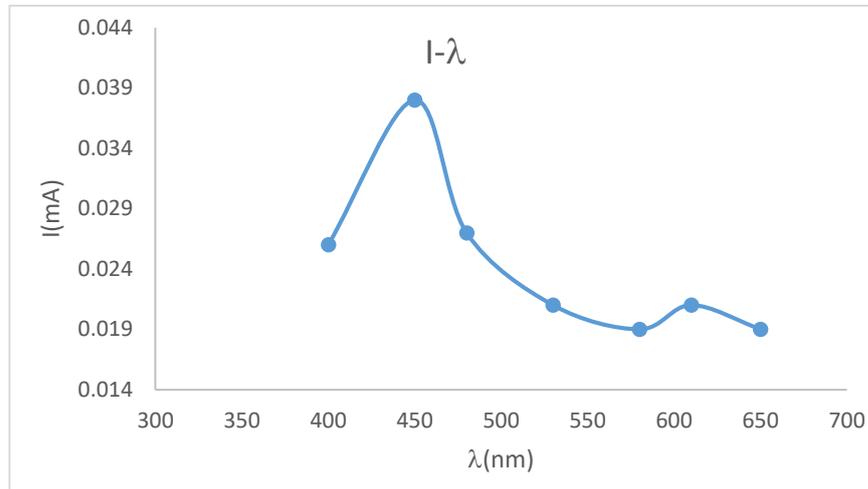
اما المردود:

$$\eta = \frac{I_{sc} V_{oc} F_F}{P_{in}} = \frac{0.1 \mu W}{1 \times 10^{-4} m^2 \times 0.014 \frac{W}{m^2}} = 7.14\%$$

ولزيادة المردود يتم زيادة عدد الطبقات وذات فجوات طاقة مختلفة لزيادة المجال الطيفي من الاشعة الشمسية التي تمتصها الخلية الشمسية وبالتالي زيادة كفاءة التحويل وزيادة المردود.

2- الاستجابة الطيفية لتيار الخلية لطول موجة الضوء الساقط:

باستخدام مرشحات لونية لكافة ألوان الطيف المرئي تم قياس تغيرات تيار الخلية الشمسية بوجود الحمل مع تغير طول موجة الضوء الساقط عليها في حالة الانارة (ضوء الغرفة). يبين الشكل (6) هذه الاستجابة الطيفية حيث يلاحظ وجود قمتين واضحتين ، القمة الأولى عند الطول الموجي 450nm واقعة في مجال اللون الأزرق وهي ناتجة عن الطبقات CdS, ZnSe والقمة الثانية عن الطول الموجي 610 nm تطابق اللون الأحمر . أي ان الخلية الشمسية أبدت استجابة عند حدود منطقة الطيف المرئي من الطيف الكهرطيسي [K.alyamani.2023].



الشكل (6) الاستجابة الطيفية لتيار للخلية الشمسية .

1- التحويل الكوانتي للخلية الشمسية:

بالاعتماد على تغيرات كمون الدارة المفتوحة وتيار الدارة المقصورة وعامل الملاءم تم حساب التحويل الكوانتي للخلية الشمسية بدلالة طول موجة الضوء الساقط على سطح الخلية الشمسية بوجود الحمل.

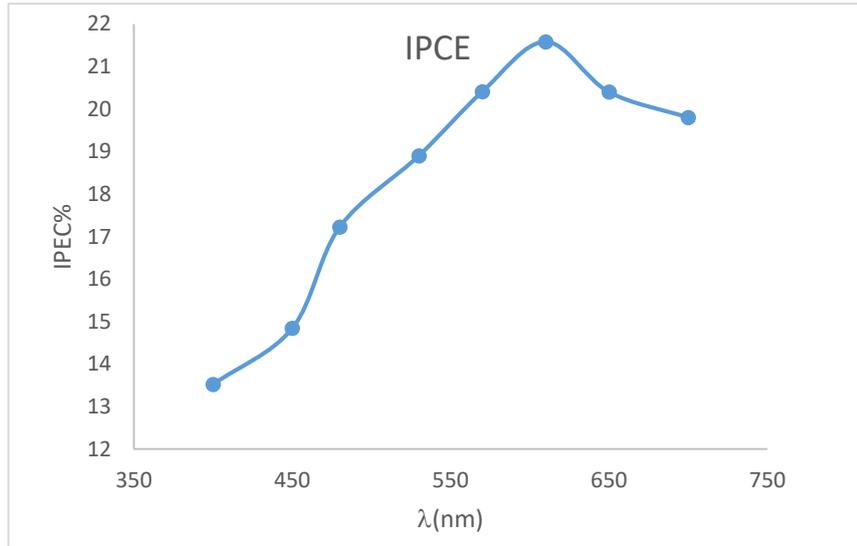
(التحويل الكوموي: يفيد في تصميم الخلايا الشمسية المترادفة، والتي تتضمن طبقات أشباه الموصلات المتعددة ذات فجوات النطاق المتفاوتة لالتقاط طيف أوسع من ضوء الشمس . وهذا يزيد من امتصاص الضوء ويخفف من الخسائر الناجمة عن التحلل الحراري، مما يتيح كفاءة تحويل طاقة أعلى)

حيث يعطى تحويل الطاقة للخلية الشمسية (PCE) بالعلاقة [Chang,J, Ahmed.R, et al.2013]:

$$PCE = (J_{sc} \times V_{oc} \times FF) / P_{in}$$

حيث J_{sc} كثافة تيار الدارة المقصورة ، V_{oc} جهد الدارة المفتوحة ، P_{in} الاستطاعة الساقطة على الخلية الشمسية و FF عامل الملاءم للخلية الشمسية .

تم رسم تغيرات التحويل الكوانتي للخلية الشمسية كتابع لطول موجة الضوء الساقط على الخلية كما يبين الشكل (7). حيث يظهر من الشكل ازدياد التحويل الطاقى للخلية المحضرة مع ازدياد الطول الموجي ضمن المجال المرئي من الطيف الكهرطيسي كما يتضح وجود قمتين للاستجابة، القمة الاولى توافق التحويل الطاقى للطاقة 17.22% عند الطول الموجي 480nm، في حين أن أعظم تحويل للطاقة 21.58% وافق الطول الموجي 610 nm والتي توافق اللون الأحمر وهذا ناتج عن زيادة حرارة السطح مع زيادة طول الموجة.



الشكل (7) التحويل الطاقى للخلية الشمسية.

7- الاستنتاجات:

باستخدام طرق كيميائية مختلفة (الايونية - السبين - الترسيب الكهربائي) تم تحضير طبقات خلية شمسية متعددة الطبقات مكونة من خمس طبقات لها قطبان أحدهما شفاف FTO والأخر عاتم AL . أظهرت الميزة I-V للخلية المحضرة ثبات التيار ($I=0.012\text{mA}$) مع الجهد (8-2V). كانت أعلى قيمة لتيار الدارة المقصورة موافقة للكومون 8.4 v . كانت استطاعة الحمل الاعظمي توافق القيم $0.1\mu\text{W}$. تم حساب عامل الملء لهذه الخلية ووجد انه يساوي 0.45 ومروود هذه الخلية 7.14% ، بينت دراسة الاستجابة تيار الخلية للطول الموجي الساقط عليها وجود قمتين للاستجابة الأولى كانت عند منطقة بداية الطيف المرئي عند الطول الموجي 450nm وافقت شدة تيار 0.038mA والقمة الثانية في منطقة اللون الأحمر عند الطول الموجي 610nm وافقت شدة تيار 0.021mA. ازداد معدل التحويل الكوانتي مع زيادة الطول الموجي ضمن المجال

المرئي، كان معدل التحويل الكوانتي أكبر ما يمكن عند الطول 610 nm حيث بلغ التحويل الكوانتي 21.58%.

8- المراجع :

- 1- K.Alyamani ' Preparation and studying Response of Solar Cell Multilayers Visible Light Sensitive Quantum Dots R.J.of AL-Furat univ. Basic Sci.Series No. 2023.
- 2- K.alyamani 'UV-VIS Multi-Layer Quantum Dot Solar Cells FTO(n)/ZnO/CdSE(MPA)/AgNO₃/ZnSe/FTO(p) FTO(n)/ZnO/CdSe(MPA)/AgNO₃/ZnTe/AL, 2021, R.J.AL-Furat univ. 51 (51), 12.
- 3- J. Jiang,a K. Wang,Q. Liua and J. Zhai" Optimizing CdS intermediate layer of CdS/CdSe quantum dot-sensitized solar cells to increase light harvesting ability and improve charge separation efficiency', RSC Adv., 2016, 6, 99564.
- 4- DA Neaman. Semiconductor physics and devices: basic principles. McGraw-Hill, New York, 2011.
- 5- K alyamani .Study structural and Electrical Properties of Light Emitting Diode FTO/CdSe(MPA)/ZnS/FTO.2021. R.J. AL-Furat univ. 49 (49), 15
- 6- K Alyamani FTO (n-type)/ZnO/CdSe/AgNO₃/ZnTe/AL Research journal of Al-Furat Univ 51,2021.
- 7- K alyamani [Spectral study of Non-Homogeneous Hetrojunction Emitting white colour consisting of FTO/ZnS/CdSE\(MPA\)](#) ,2019, R.J of AL-Furat univ. 42 (42), 13.
- 8- Batal M.A, Al Yamani K. "Quantum Confinement Effects on Absorption Spectrum Line Broadening of CdSe Artificial Atoms" Materials Science Indian Journal 2016;14(13):105.
- 9- K Alyamani ' UV-VIS Multi-Layer Quantum Dot Solar Cells FTO(n)/ZnO/CdSE(MPA)/AgNO₃/ZnSe/FTO(p),FTO(n)/ZnO/CdSe(MPA)/AgNO₃/ZnTe/AL,2021, R.J.AL-Furat univ. 51 (51), 12.
- 10- Chang,J, Ahmed.R, et al., "ZnO Nanocones with High-Index (101⁻¹) Facets for Enhanced Energy Conversion Efficiency of Dye Sensitized Solar Cells," J. Phys. Chem. C, vol. 117,2013, pp. 13836-13844.
- 11- De la Fuente, M.S., et al., Effect of Organic and Inorganic Passivation in Quantum-DotSensitized Solar Cells. The Journal of Physical Chemistry Letters, 2013. 4(9): p. 1519-1525

Enhanced quantum conversion response of photosensitive quantum dot multilayer solar cell AL/ZnSe/CdSe(MPA)QDs/CdS/FTO

Dr. Kaesar Alyamani

Teacher assistant .Physics department,
Faculty of science, Al- Furat University

Abstract

A solar cell with multilayer quantum dots (QDs) was prepared, one of the electrodes being transparent (FTO) and the other opaque (AL). The I-V feature of the prepared cell showed stability of the current ($I = 0.012\text{mA}$) at low potentials. The highest value of the cell current was a potential of 8.4 v, and the maximum load power was $0.1\mu\text{W}$. The yield of this cell is 7.14%. A study of the response of the cell current to the wavelength falling on it showed that there were two peaks of the response. The first was at the beginning of the visible spectrum at a wavelength of 450nm, corresponding to a current intensity of 0.038mA, and the second peak was in the red color region at a wavelength of 610nm, corresponding to a current intensity of 0.021mA. The quantum conversion rate increased with increasing wavelength within the visible range. The quantum conversion rate was greatest at the length of 610 nm, where the quantum conversion reached 21.58%.

Keywords: CdSe(MPA), AL, ZnSe, QDs Solar Cells, FTO, Quantum Conversion