

خلايا شمسية متعددة الطبقات ذات النقاط الكمية الحساسة UV-VIS
FTO(n-type) /ZnO/CdSe/AgNO3/ZnSe/ FTO(p-type)
FTO(n-type) /ZnO/CdSe/AgNO3/ZnTe/AL

الدكتور قيصر صلاح اليماني

مدرس في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة الفرات

الملخص

تم في هذا البحث تحضير خليتين شمسيتين متعددة الطبقات المادة الفعالة فيها النقاط الكوانتية من CdSe(MPA) الخاضعة لتقييد كوانتي من النوع الأولى ، استخدمت المادة الناقلة للثقوب أنصاف النواقل ZnSe (2.7 eV) و ZnTe (2.26 eV) . كما تم استخدام قطبين موجبيين من نوعين مختلفين / قطب شفاف (FTO) و قطب معدني (عاتم) من الألمنيوم. أعطت الخلية الشمسية التي تمتلك قطبين شفافين استطاعة حمل اعظمية $5.136 \mu W$ أعلى من الاستطاعة الاعظمية للحمل في الخلية الشمسية التي تمتلك قطب معدني $2.726 \mu W$ وذلك نتيجة زيادة الاثارة الحرارية والضوئية التي يتعرض لها وجهي الخلية الشمسية ، اما في الخلية الشمسية التي استخدم فيها الالمنيوم قطب موجب فقد ساعد على امتصاص الحرارة (العمل كمبرد للخلية الشمسية) مما أضعف من شدة الاثارة الحرارية ولأنه قطب عاتم خفف من الاثارة الضوئية في النطاق، وبالنتيجة كلتا الخليتين أعطت مردود مرتفع (20.54%-20.9%) بالنسبة لخلية شمسية مخبرية متعددة الطبقات تعتمد على النقاط الكوانتية كمادة فعالة فيها.

الكلمات المفتاحية: خلايا شمسية ، CdSe(MPA) ، AL ، ZnTe.

1- مقدمة :

النقاط الكوانتية او ما تعرف بالذرات الصناعية هي بلورات نانوية صناعية محاطة بمادة نصف ناقلة ذات فجوة طاقية اكبر وعادة ما يكون لها الشكل الكروي مع قطر يتراوح من (1-10nm) وغالباً ما تحضر من عناصر انصاف النواقل للمجموعتين الرابعة - الثانية او عناصر المجموعتين الثالثة - الخامسة من الجدول الدوري [González-Pedro, V., et al 2010]. وتبعاً لدرجة التقيد الكوانتي الذي تخضع له هذه النقاط يختلف تطبيقاتها الضوئية فهي إما متصلات انبعاث ضوئية، خلايا شمسية متعددة الطبقات ذات كفاءة عالية، اصبغة حساسة لأفلام التصوير البيولوجي، كواشف ضوئية وذلك بحسب قيمة فجوتها الطاقية وقيم طول موجة الامتصاص والفلورة الضوئية الذي تعطي عنده أفضل استجابة ضوئية [Lee, H., et al.2009]. ان الميزات التي تجعل النقاط الكوانتية خياراً مهم في صناعة الخلايا الشمسية هو امكانية تغيير فجوتها الطاقية من مجال الأشعة تحت الحمراء إلى المنطقة فوق البنفسجية من الطيف الكهرطيسي من خلال التحكم في الحجم ومقاسات النقاط الكوانتية المتشكلة [Santra, P.K. and P.V. Kamat2013].

في الواقع، ان ترسيب نقاط كوانتية من CdSe بمقاسات انصاف اقطار مختلفة يعتبر أحد أهم البارمترات للحصول على خلايا شمسية ذات كفاءات عالية، بسبب تحسين امتصاص الضوء، مما يؤدي بدوره إلى زيادة التيار الضوئي في مناطق مختلفة من الاشعة المرئية إلى الأشعة تحت الحمراء القريبة، مما يؤدي إلى زيادة الإلكترونات المحقونة ضمن العصب الطاقية للنقاط الكوانتية [Cerdan-Pasaran, A., et al,2015]. وهذا يعتمد على طريقة تحضير النقاط الكوانتية وأنواع الأوساط المغلفة التي تمنع عمليات إعادة الاتحاد المشع التي تخفض من كفاءة هذه الخلايا وهذا يتعلق بنوعية السطوح المغلفة للنقاط الكوانتية [Hines, D.A. and P.V. Kamat.2013].

سوف نقوم في هذا البحث بتحضير نوعين من الخلايا الشمسية متشابهة في طبقاتها احدى تعمل عند امتصاص الضوء في منطقة الضوء المرئي من الطيف

الكهرطيسي والثانية تعمل على امتصاص الضوء في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة من الطيف الكهرطيسي، ومن ثم حساب مردود وكفاءة كل منهما.

2- المواد الكيميائية المستخدمة:

اسيتات الزنك، كلوريد القصدير، كلوريد الحديد، الماء المقطر، بوروهيدريد الصوديوم، السيلينيوم، اسيتات الكاديوم، ميتابرابونك اسيد، ايتلين غليكول، هيدرازين دي هيدرات، الإيثانول، دي ايتيل امين، أكسيد التريليوم، نترات الفضة، شرائح زجاجية، شرائح النيويم.

3- الأجهزة والأدوات:

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

4- الخلية الشمسية $FTO(p)/ZnSe/AgNO_3/CdSe/ZnO/FTO(n)$

صممت منظومة الخلية الشمسية بحيث تمتص كامل الأشعة الضوئية في المنطقة المرئية من الطيف الكهرطيسي، حيث تم استخدام قطبين شفافين من شرائح زجاجية احدهما من النوع N الثانية من النوع P ، استخدمت فيها الطبقة الناقلة للتقوب ZnSe وهو نصف ناقل من النوع P يتمتع بفجوة طاقة (2.70 eV) يتبلور وفق البنية السداسية يملك خصائص ضوئية جيدة ، وكذلك استخدمت النقاط الكوانتية من CdSe كمادة فعالة فيها تمتلك مادتها الأساسية فجوة طاقة مباشرة (1.73 eV) يتبلور وفق البنية السداسية . اما المادة الناقلة للإلكترونات فكانت أكسيد الزنك ZnO وهو نصف ناقل من النوع N. وفيما يلي طرق تحضير هذه الطبقات المختلفة:

1-3- تحضير FTO من النوع P:

تم تحضير هذه الطبقة بطريقة البخ الحراري حيث تم اشابة محلول كلوريد القصدير بنسبة 5% من كلوريد الحديد، حيث تم تسخين الشرائح الزجاجية باستخدام سخان كهربائي حتى الدرجة 450C ومن القيام بعملية البخ [M.A.Batal,Kaesar Alyamani.2016].حيث يمكن اعتبارها طبقة نصف ناقلة متوالدة حيث تقع سوية

فيرمي قريبة جدا من قطاع الناقلية او حتى ضمن قطاع الناقلية مما يجعل ناقليتها عالية ومقاومة منخفضة .

2-3- تحضير الذرات الصناعية CdSe(MPA)

تم حل 0.1mol من اسيتات الكاديوم في 100ml من الماء المقطر باستخدام خلاط مغناطيسي، اضيف الى المحلول السابق 0.1mol من ميتابرابونك اسيد مع التحريك المستمر حتى تمام الانحلال يتشكل محلول ابيض حليبي نسميه المحلول (A). نأخذ 0.1 mol من السيلينيوم ويوضع في 100ml من الماء المقطر يضاف الى المزيج السابق 25 ml من ايتلين غليكول ويوضع المزيج في حوجلة زجاجية وتركب على دورة تبريد مرتد عند الدرجة 80 C° لمدة 6 ساعات يضاف اليها 25ml من هيدرازين دي هيدرات على المحلول السابق بنهاية التفاعل يتشكل محلول احمر خمري red wine نسميه المحلول (B). نحضر CdSe(MPA) بأن نأخذ نسبة 1/3 من المحلول الأول الى المحلول الثاني فيتشكل محلول اصفر اللون يتحول لونه للون الأبيض مع زيادة الزمن نتيجة زيادة حجم العنقود الذري المتشكل [Batal M.A and Al Yamani K.2016].

3-3- تحضير ZnSe:

تم حل 0.02mol/L من اسيتات الزنك المائية في 100ml من الماء المقطر ومن ثم تم إضافة 1gr من بروهيدريد الصوديوم الى المحلول السابق مع التحريك المستمر بواسطة خلاط مغناطيسي. تم إضافة 30ml من محلول السيلينيوم المحضر مسبقا مع التحريك المستمر يتشكل في نهاية التفاعل محلول أصفر مائل للون البرتقالي من ZnSe.

4-3- تحضير الطبقة الناقلة للإلكترونات ZnO:

تم تحضير هذه الطبقة بطريقة المحلول الجلاتيني حيث تم حل 0.1mol من خلات الزنك في 100ml من الإيثانول مع إضافة بضع قطرات من دي ايتيل امين في درجة حرارة الغرفة مع التحريك المستمر باستخدام خلاط مغناطيسي حيث يتشكل محلول هلامي شفاف تم ترسيبه على الشرائح الزجاجية الشفافة الناقلة باستخدام طريقة الغمس

العادية ومن ثم عولجت الشرائح الزجاجية الى الدرجة 500C حتى تتبخر المادة العضوية ويتشكل بالنهاية طبقة بيضاء اللون من ZnO [M.A.Batal, Kaesar ZnO .Alyamani.2017]

- 3-5- ترتيب طبقات الخلايا الشمسية: تم تشكيل طبقات هذه المنظومة وفق الآتي:
1. حضرة شرائح زجاجية شفافة ناقلة للتيار الكهربائي من فلوريد أكسيد القصدير (نصف ناقل من النوع 'N' طبقة تمرر الالكترونات لانها طبقة خالية من المسامات (miso porous) ولا تسمح بمرور الايونات ذات الحجم الكبير) بطريقة الترسيب الحراري بمقاومات منخفضة ($10\Omega-15$).
 2. باستخدام طريقة السبين تم ترسيب طبقة أكسيد الزنك ومن ثم عولجت الشريحة الزجاجية حراريا باستخدام المرمدة حتى الدرجة 400C.
 3. رسبت طبقة من الذرات الصناعية CdSe(MPA) أيضا بطريقة السبين فوق طبقة أكسيد الزنك ثم جففت باستخدام مجففة عند الدرجة 50 C لمدة ساعتين.
 4. حضرت شريحة زجاجية من فلوريد أكسيد القصدير المشاب بكلوريد الحديد الثلاثي (نصف ناقل من النوع P) بطريقة الترسيب الحراري بمقاومة منخفضة 50Ω ، تم ترسيب عليها طبقة ZnSe (نصف ناقل من النوع P) وتم إضافة طبقة من $AgNO_3$ كطبقة الكتروليت ناقل من النوع P.
 5. أجريت عملية التصاق الشريحتين بواسطة ملاقط لمنع عملية انتشار الطبقات بين بعضها البعض تثبيت الشريحتين (1) و(2) بمساحة سطح $1cm^2$ كما في الشكل (1) حيث كان الهدف من وضع طبقتين شفافتين من FTO هو ان تضاء الخلية من الجانبين لزيادة مردودها .

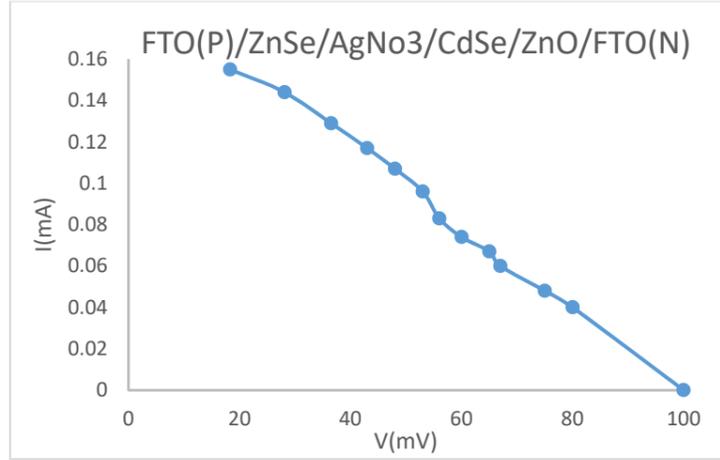
FTO(N-type)
ZnO
CdSe (MPA)
AgNO3
ZnSe
FTO (P-type)



الشكل (1) المخطط الصندوقي للخلية الشمسية، خلية شمسية عملية تجريبية.

3-6 - الميزة I-V للخلية الشمسية:

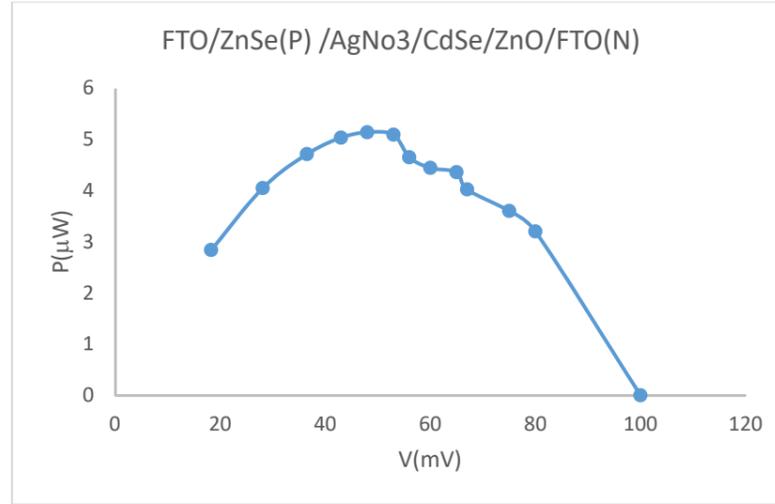
تم دراسة الميزة I-V لهذه الخلية عند إضاءة الغرفة بوجود مقاومة حمل متغير ($100-2000\Omega$). يبين الشكل (2) تناقص شدة التيار المار في الخلية مع زيادة مقاومة الحمل حيث بلغت اعظم قيمة لتيار الخلية جهد الخلية مع ملاحظة ارتفاع شدة 0.155m A وهو يمثل تيار الدارة المقصورة ، بينما كانت قيمة جهد الدارة المفتوحة 100m V .



الشكل (2) الميزة I-V للخلية الشمسية.

3-7 - تغيرات استطاعة الخلية كتابع للجهد:

تم دراسة تغيرات استطاعة الخلية الشمسية كتابع لجهد الخلية بوجود مقاومة حمل متغيرة ($100-2000\Omega$) تحت اضاءة ثابتة (منبع ضوئي) حيث تم استخدام بيل مول الحراري لقياس شدة الإضاءة الساقطة على سطح الخلية . يبين الشكل (3) تغير الاستطاعة مع الجهد ، يلاحظ من هذه المنحني زيادة الاستطاعة مع زيادة الجهد حتى الوصول مع القيمة العظمى ومن ثم تتناقص مع زيادة الجهد مع وجود قمة ثانية على يمين القمة الرئيسية على المنحني في الشكل (3) مما يدل على وجود استجابة ثانوية للخلية عند قيمة ثانية للجهد.



الشكل (3) تغيير الاستطاعة للخلية الشمسية كتابع للجهد.

يحسب عامل الملء للخلية باستخدام العلاقة [Santra, P.K. and P.V. :Kamat2013]

$$F_f = \frac{P_{max}}{I_{sc}V_{oc}} = \frac{5.136 \mu W}{0.155 mA \times 100 mV} = 0.33$$

حيث P_{max} الاستطاعة العظمى من منحنى السابق، I_{sc} تيار الدارة المقصورة و V_{oc} جهد الدارة المفتوحة. ويحسب المردود بالعلاقة التالية [de la Fuente, M.S., et al2013]:

$$\eta = \frac{P_{max}}{\phi A} = \frac{5.136 \mu W}{1 \times 10^{-4} m^2 \times 0.25 \frac{W}{m^2}} = 20.54\%$$

حيث تعطى مساحة الخلية وشدة الاستطاعة الساقطة المقاسة باستخدام بيل

مول الحراري على سطحها (جاء ابعاد الخلية) $A = 1 \times 10^{-4} m^2$ ، $\phi = 0.25 \frac{W}{m^2}$ على الترتيب.

4- الخلية شمسية متعددة الطبقات النقاط الكمية الحساسة منطقة الأشعة

تحت الحمراء القريبة: FTO(n-type)/ZnO/CdSe/AgNO3/ZnTe/AL

تعتبر هذه الخلية مشابهة للخلية السابقة مع استبدال الطبقة الناقلة للتقريب(من

النوع P) من مادة نصف ناقلة (ZnSe) إلى طبقة نصف ناقلة من (ZnTe) ذات فجوة

طاقية أقل ، يعتبر ZnTe نصف ناقل من النوع P يملك بفجوة طاقية مباشرة (2.26eV) يتبلور وفق البنية السداسية ويملك خصائص ضوئية مناسبة لتتم امتصاص كامل الطيف المرئي من الاشعاع الكهرطيسي مع المادة الفعالة للخلية الشمسية CdSe [M.A.Batal,Kaesar Alyamani.2016]. كما تم استبدال القطب الموجب في الخلية من قطب شفاف (FTO) إلى قطب معدني (عاتم) من الألمنيوم يتمتع بتابع عمل 4.3eV وذلك من اجل تحقيق منظومة تقيد كوانتي صالحة لصناعة الخلايا الشمسية وكذلك لمنع التيارات العكسية الناتجة عن دخول الضوء من طرف القطب الشفاف وذلك لتحسين مردود الخلية الشمسية وزيادة شدة التيار المار فيها. تم تحضير الطبقات الجديدة في منظومة الخلية على النحو التالي:

4-1- تحضير ZnTe :

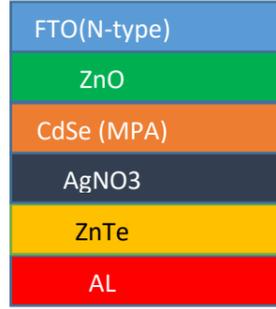
باستخدام الطريقة الكيميائية تم حل 0.1mol من اسيتات الزنك في 100ml من الايتانول نسميه المحلول A. تم حل 0.1 mol من Te_2O_3 في 100ml من الايتانول نسميه المحلول B. تم مزج المحلول A مع المحلول B فيتشكل محلول هلامي شفاف من ZnTe .

4-2- ترتيب طبقات الخلية الشمسية :

1- أخذت شريحة من الالمنيوم ذات الأبعاد (1cm*3cm) ونظفت باستخدام كرومات البوتاسيوم والماء المقطر نسميها الشريحة (1). ومن ثم رسبت طبقة من نصف الناقل ZnTe باستخدام طريقة الغمس فوق سطح الشريحة(1). أضيف لسطح الشريحة عدة قطرات من $AgNO_3$ كطبقة مسرعة لحركة حاملات الشحنة الموجبة (التقوي) فوق سطح الشريحة(1).

2- حضرت شريحة من FTO باستخدام طريقة البخ الحراري عند الدرجة 450C ذات مقاومة منخفضة ($\Omega 24$) نسميها الشريحة (2) ، رسبت فوقها طبقة من أكسيد الزنك باستخدام طريقة السبين. ومن ثم رسبت فوقها طبقة من النقاط الكوانتية من CdSe باستخدام طريقة الغمس.

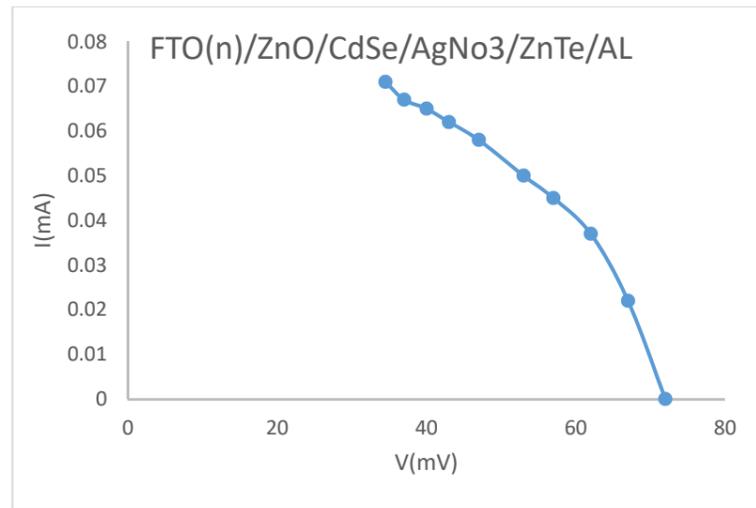
3- تم عمل الالتصاق وتثبيت الشريحتين (1) و(2) كما في الشكل (1) باستخدام ملاقط معدنية.



الشكل (4) المخطط الصندوقي لبنية الخلية الشمسية متعددة الطبقات.

3-4- الميزة I-V للخلية الشمسية :

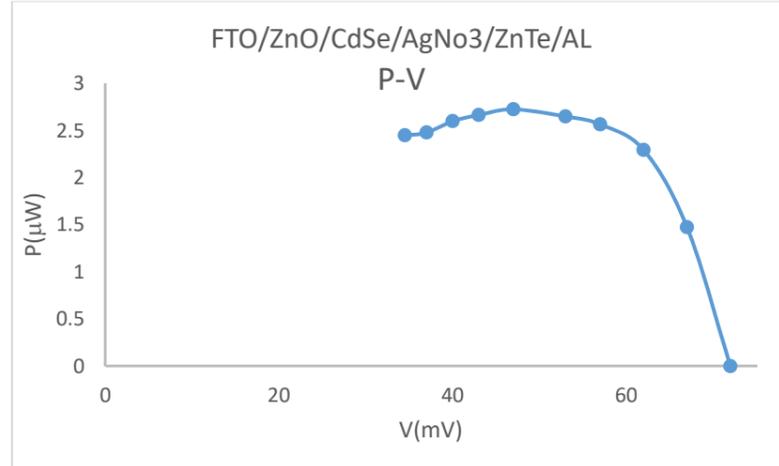
أُخذت الميزة I-V بتطبيق مقاومة حمل متغيرة من $(100-1000)\Omega$ ، تم انارة الخلية باستخدام مصباح كهربائي ذو شدة عالية ، حسب الاستطاعة الضوئية الساقطة على سطح الخلية الشمسية باستخدام بيل مول الحراري ($0.13 \times 10^{-4} \text{W/m}^2$). يبين الشكل (5) هذه الميزة حيث يلاحظ من هذه الميزة انها قريبة من الميزة المثالية للخلية الشمسية.



الشكل (5): الميزة I-V للخلية الشمسية

4-4- تغيرات استطاعة الحمل مع تغير جهد الخلية:

تم رسم تغيرات استطاعة حمل الخلية الشمسية مع تغيرات جهد الخلية الشمسية بوجود الحمل وذلك لحساب الاستطاعة العظمى لهذه الخلية وتعين قيمة مقاومة الحمل التي تعطي أفضل استطاعة حمل. يبين الشكل (6) تغيرات الاستطاعة بدلالة الجهد المطبق ويبين هذه الميزة أنها تشابه الميزة المثالية للخلية الشمسية حيث يلاحظ تسطح كبير في منحنى الاستطاعة وهذه يدل على ثبات واستقراره الخلية المحضرة.



الشكل (6) تغيرات الاستطاعة مع جهد الخلية بوجود الحمل.

من الشكل (6) القيمة العظمى للاستطاعة $2.726 \times 10^{-6} W$ توافق كمن الحمل الاعظمي $V_{OL}=47mV$ بإسقاط قيمة الجهد على الشكل (5) الذي يمثل الميزة $I-V$ نجد ان قيمة التيار الموافق افضل كمن حمل $I_{OI}=58 \times 10^{-6} A$ والجدول (1) يبين القيم التي تم حسابها.

الجدول (1)

$V_{OL}(mV)$	$I_{OI}(\mu A)$	$R_{OL}(\Omega)$
47	58	810

تم حساب عامل الملء لهذه الخلية F_F وكذلك المردود لهذه الخلية باستخدام

العلاقات التالية:

$$F_F = \frac{P_{\max}}{I_{SC} V_{OC}} = \frac{2.726 \mu W}{0.071 mA \times 72 mV} = 0.53$$

$$\eta = \frac{P_{\max}}{\phi A} = \frac{2.726 \mu W}{1 \times 10^{-4} m^2 \times 0.13 \frac{W}{m^2}} = 20.9\%$$

5- الاستنتاجات والتوصيات:

كما هو موضح أعلاه، أعطت الخلية الشمسية التي تمتلك قطبين شفافين استطاعة حمل اعظمية $5.136 \mu W$ أعلى من الاستطاعة الاعظمية للحمل في الخلية الشمسية التي تمتلك قطب معدني $2.726 \mu W$ وذلك نتيجة زيادة الاثارة الحرارية والضوئية التي يتعرض لها وجهي الخلية الشمسية ، اما في الخلية الشمسية التي استخدم فيها الالمنيوم قطب موجب فقد ساعد على امتصاص الحرارة (العمل كمبرد للخلية الشمسية مما أضعف من شدة الاثارة الحرارية ولأنه قطب عاتم خفف الاثارة الضوئية في النطاق المرئي، وبالنتيجة كلتا الخليتين أعطت مردود مرتفع (20.54%-20.9%) بالنسبة لخلية شمسية مخبرية متعددة الطبقات تعتمد على النقاط الكوانتية كمادة فعالة فيها.

6- المراجع :

- 1- González-Pedro, V., et al., Modeling High-Efficiency Quantum Dot Sensitized Solar Cells. ACS Nano, 2010. 4(10): p. 5783-5790.
- 2- Lee, H., et al., Efficient CdSe quantum dot-sensitized solar cells prepared by an improved successive ionic layer adsorption and reaction process. Nano letters, 2009. 9(12): p. 4221- 4227.
- 3- Santra, P.K. and P.V. Kamat, Tandem-Layered Quantum Dot Solar Cells: Tuning the Photovoltaic Response with Luminescent Ternary Cadmium Chalcogenides. Journal of the American Chemical Society, 2013. 135(2): p. 877-885.
- 4- Cerdan-Pasaran, A., et al., Photovoltaic properties of multilayered quantum dot/quantum rod-sensitized TiO2 solar cells fabricated by SILAR and electrophoresis. Physical Chemistry Chemical Physics, 2015. 17(28): p. 18590-18599.

- 5- Blas-Ferrando, V.M., et al., Efficient passivated phthalocyanine-quantum dot solar cells. *Chemical Communications*, 2015. 51(9): p. 1732-1735.
- 6- Hines, D.A. and P.V. Kamat, Quantum Dot Surface Chemistry: Ligand Effects and Electron Transfer Reactions. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2013. 117(27): p. 14418-14426.
- 7- Batal MA, and Alyamani K "Spectroscopic Study of FTO/CdSe (MPA)/ZnO Artificial Atoms Emitting White Color" *Nano Science Nanotechnology journal* 2017;11(1):114
- 8- - Batal M.A and Al Yamani K. "Quantum Confinement Effects on Absorption Spectrum Line Broadening of CdSe Artificial Atoms" *Materials Science Indian Journal* 2016;14(13):105
- 9- M.A.Batal, Kaesar Alyamani "Optical Properties, Ideal Factor and Electrical Conductivity Dimension Determination of (TCO/PANI and TCO/EL/PANI) Matrix" *R.J.of Aleppo Univ. Basic Science Series* , No.113 2016
- 10- M.A.Batal, Kaesar Alyamani "Quantum Confinement in Absorption Spectra of Light emitting diode (LED) Preparation from Artificial Atoms FTO/ZnO/CdSe(MPA)/FTO" *R.J.of Aleppo Univ. Basic Science Series* , No.118. 2017.
- 11- Santra, P.K. and P.V. Kamat, Tandem-layered quantum dot solar cells: tuning the photovoltaic response with luminescent ternary cadmium chalcogenides. *J Am Chem Soc*, 2013. 135(2): p. 877-85.
- 12- 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.

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

Dr.Kaesar Alyamani

Physics Department – Faculty of Science –AL Furat University

Abstract

In this paper, two multi-layers solar cells were prepared, the active layer was CdSe (MPA) quantum dots (first quantum confinement). Two types of electronic transfer layers of semiconductor material (ZnTe, ZnSe). Two types of anode were a transparent (FTO) electrode and a metallic electrode of aluminum.

The solar cell which has two transparent electrode have efficiency 20.9% higher than the solar cell that has a metal electrode 20.54% due to the increased thermal and light excitations on the two sides of the solar cell . The aluminum electrode in solar cell, work as heat dissipater (Acting as a cooler for the solar cell), which reduced the intensity of thermal excitation and because it is an opaque electrode that reduced optical excitation. As a result, both cells gave a high efficiency for a multi-layered laboratory solar cell that relies on CdSe (MPA) quantum dots as an active layer in it.

Keywords ; CdSe (MPA), Solar cell, ZnTe, AL.