

قياس منحنيات (كثافة تيار - جهد) لتحديد متغيرات وكفاءة الخلية الشمسية السليكونية PIN

الدكتور برهان دالاتي*

الدكتور علي درويشو**

(تاريخ الإيداع 11 / 3 / 2014. قَبْلَ للنشر في 14 / 5 / 2014)

□ ملخص □

تقدم هذه الدراسة قياساً لخواص (فولت-أمبير) لخلية شمسية PIN مصنوعة من السيليسيوم اللابلوري أما الطبقة النقية فهي مصنوعة من خليط من السيليسيوم اللابلوري والمكروبلوري المهدرج وذلك من أجل شدات ضوئية مختلفة باستخدام لمبة هالوجين باستطاعة 100 W ، حيث قيست كثافة الضوء الوارد على الخلية بمقياس قدرة وكانت $(15, 25, 35)\text{ mW/cm}^2$.

تمّ الحصول وبشكل مباشر من المنحنيات الناتجة على المتغيرات الأساسية للخلية الشمسية وهي: كثافة تيار قصر الدارة J_{sc} ، جهد الدارة المفتوحة V_{oc} ، عامل الامتلاء FF ، وكفاءة تحويل الطاقة الشمسية (المردود) η . ومن أجل الحصول على متغيرات الخلية الشمسية مثل تيار الإشباع J_0 وعامل المثالية n للديود والمقاومة التسلسلية R_s ومقاومة التوازي R_p وتيار الإضاءة J_{ph} تمت ملائمة المميزات التجريبية لتيار-جهد على العلاقة النظرية $J(V)$ التي تصف هذه المميزات في الإضاءة باستخدام برنامج OriginPro. لوحظ بشكل واضح أن عملية الملائمة تحاكي القيم التجريبية إلى حد كبير وبالتالي تعطي قيم المتغيرات بشكل جيد وخاصة قيم التيار الضوئي وقيم مقاومة التسلسل ومقاومة التوازي اللتين تؤثران بشكل قوي على شكل المنحني عند المرور بمحور التيار وعند قيم كمون عالية.

الكلمات المفتاحية: السيليسيوم اللابلوري، متغيرات الخلية الشمسية، تيار الإشباع، عامل المثالية للديود، المقاومة التسلسلية، مقاومة التوازي.

* أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Measuring the characteristics of current - voltage to identify the variables and the efficiency of the solar cell silicon PIN

Dr. Burhan Dalati*
Dr. Ali Darwisho**

(Received 11 / 3 / 2014. Accepted 14 / 5 / 2014)

□ ABSTRACT □

In this work was measured characteristics (current - voltage) for the solar cell (PIN) where the layer P and layer N of silicon amorphous . The layer (I) intrinsic it is made from a mixture of silicon amorphous and microcrystalline hydrogenated in order to different illumination using a halogen bulb has 100 W Power, as measured the intensity illumination incoming on cell by scale of the power it was (15, 25, 35) mW / cm^2

Were obtained directly from the curves of the resulting characteristics on the basic variables for the solar cell: the short circuit current density J_{sc} , open-circuit voltage V_{oc} , fill factor FF , and efficiency of solar energy conversion (yield) η . in order to obtain a solar cell variables such as saturation current J_0 and ideality factor n and serial resistance R_s , parallel resistance R_p , current lighting J_{ph} has fitting characteristics current-voltage experimental relationship theory that describes characteristics under illumination using the program OriginPro. Observed clearly that the process of fitting simulate experimental values significantly and thus she gives the values of variables are particularly good values of current optical and resistance values serial resistance in parallel, which affect strongly on the shape of the curve when passing the axis of current, and when the values of voltage is high.

Keywords: amorphous silicon, variables of the solar cell, the saturation current, ideality factor of diode, resistance serial, parallel resistance.

* Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تشكل مادة السيليسيوم العصب الرئيسي لصناعة الخلايا الشمسية، إذ تستحوذ على النسبة الأكبر من الخلايا الشمسية المنتشرة عالمياً. تتمتع هذه المادة بمواصفات فريدة تجعل منها الخيار الأكيد لهذا التطبيق. فهي من جهة متوفرة بكثرة في الطبيعة، كما أنها مادة غير سامة وتدخل بشكل واسع في صناعة الأدوات اليومية التي يستعملها الإنسان منذ القدم. كما تجعل المواصفات الإلكترونية منها مادة يمكن تطعيمها بسهولة بحيث تصبح من النوع السالب (N) أو الموجب (P). كما يمكن تصنيعها بناقلية منخفضة أو ناقلية ذاتية. وإن عملية أكسدة السيليسيوم السهلة إلى السيليسيوم العازل جعلت منه المادة المفضلة في صناعة الدارات الإلكترونية المتكاملة. كل هذه الخبرات المتراكمة مع السيليسيوم تم الاستفادة منها في موضوع الخلايا الشمسية [1].

وعند صناعة الخلايا الشمسية من السيليسيوم أحادي التبلور والسيليسيوم متعدد التبلور فإن جزءاً كبيراً من التكاليف يذهب عند صناعة الخلية لتصنيع الصفائح وعملية تصنيع الخلية منها. ومن هنا برزت فكرة تصنيع الخلية الشمسية على أساس أفلام رقيقة مما يختصر عدة خطوات والكثير من تكاليف إنتاجها [2]. ومن أهم المواد المستعملة في هذا الإطار هي أطوار مختلفة من السيليسيوم اللابلوري مثل السيليسيوم اللابلوري: a- amorphous silicon (Si:H) والسيليسيوم المكروبلوري: $\mu\text{c-Si:H}$ microcrystalline silicon والسيليسيوم متعدد الأشكال: (pm - Si:H) polymorphous silicon [2].

كما أن توفر الإشعاع الشمسي باستطاعات أعلى من الاستطاعات المنتشرة في أوروبا وعلى مُد زمنية أطول يجعل كلفة التيار الشمسي أقل في المنطقة العربية، وإن وجود درجات حرارة أعلى واستطاعات شمسية أعلى في المنطقة العربية يجعل نوعية الخلايا التي تنتاسب مع مناخ هذه المنطقة مختلفة. ففي حين تتناسب الخلايا ذات الفجوة الطاقية الصغيرة المناطق الباردة، فإن منطقتنا العربية تتناسبها خلايا ذات ثبات حراري أقوى وخاصة الخلايا المصنوعة من مواد تملك فجوة طاقية كبيرة. سسس

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى معرفة متغيرات الخلية الشمسية باستخدام طريقة الملاءمة الحاسوبية، ودراسة أداء الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليسيوم اللابلوري المهدرج في الطور المكروبلوري. وهذه المتغيرات ذات أهمية في تطوير أداء الخلية عن طريق التحكم بقيمتها وتغييرها في الاتجاه المطلوب قدر الإمكان.

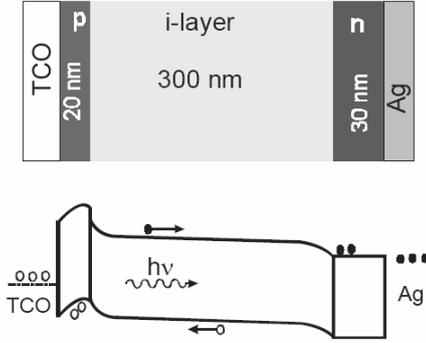
طرائق البحث ومواده:

استخدمت في هذه الدراسة خلية شمسية PIN مصنعة باستخدام تقانة (PECVD)، حيث الطبقة P والطبقة N من السيليسيوم اللابلوري أما الطبقة I النقية فهي مصنوعة من خليط من السيليسيوم اللابلوري والمكروبلوري المهدرج ويرمز لها اختصاراً $\mu\text{c(a)-Si:H}$.

أنجزت قياسات منحنيات (كثافة تيار- جهد) لتحديد كفاءة الخلية الشمسية، ونقطة الاستطاعة العظمى والمتغيرات التي تحد من الكفاءة من خلال مفاهيم المقاومة وإعادة اتحاد الزوج (إلكترون- ثقب) [3]. تعتبر معرفة متغيرات الخلية الشمسية ذات أهمية كبيرة وذلك لمراقبة جودة وأداء الخلايا الشمسية، وهناك طرق عديدة لإيجاد قيم هذه المتغيرات، وهذه المتغيرات هي تيار الإشباع J_0 ، عامل المثالية n ، المقاومة التسلسلية R_s ، مقاومة التوازي R_p

والتيار الضوئي J_{ph} [4,5]. وقد استخدمت هنا الملاءمة الحاسوبية للقياسات الحاصلة من أجل شدات إضاءة مختلفة $(15, 25, 35) mW / cm^2$ باستخدام لمبة هالوجين باستطاعة $100 W$.

الدراسة النظرية:

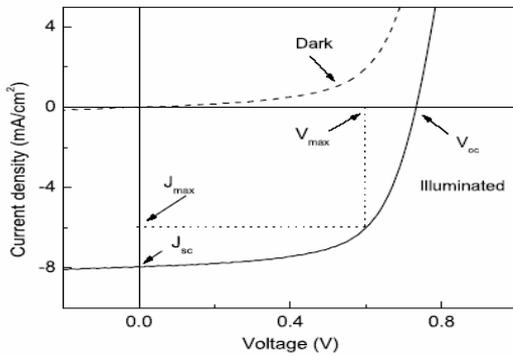


الشكل (1): بنية الخلية PIN ومخطط عصابات الطاقة فيها

تختلف تركيبة الخلية الشمسية المصنوعة من السيليسيوم البللوري من حيث البنية عن باقي الخلايا الشمسية. فبينما تصنع الخلايا عادة على شكل وصلة (PN) تصنع هذه الخلية على شكل وصلة (PIN) كما يظهر ذلك الشكل (1) والسبب في ذلك يعود إلى طول الانتشار الصغير في السيليسيوم البللوري. حيث تحوي الخلايا العادية على منطقة نضوب كبيرة حول السطح البيني وتستطيع معظم حوامل الشحنة المتولدة في هذه المنطقة المساهمة بالتيار الشمسي. أما في حالة

الخلايا الشمسية البللورية فتوضع منطقة نقية بين الطبقتين الناقلتين بحيث تتمكن حوامل الشحنة المولدة ضوئياً في هذه المنطقة من الوصول إلى الأقطاب والمساهمة في التيار الضوئي.

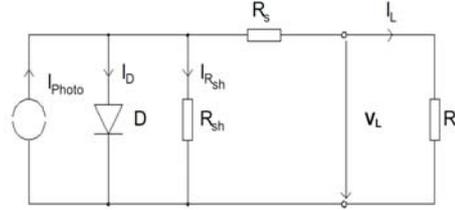
إن وجود هذه الطبقة النقية يزيد من طول الانتشار، حيث لم يكن سابقاً من الممكن توليد تيار ضوئي في مثل هذه الخلايا حتى تم إضافة الهيدروجين إلى الطبقات النقية وذلك بسبب ارتفاع تركيز مصائد الشحنة. فعندما يدخل ضوء الشمس شكل فوتونات إلى الخلية الشمسية يتم امتصاصه بواسطة الطبقة (I) و كل فوتون ممتص يخلق الزوج (إلكترون- ثقب)، ثم يتحرك الإلكترون باتجاه الطبقة N والثقب إلى الطبقة P بسبب الحقل الكهربائي الموجود بين هذه الطبقات. وهذا لأن الخلايا الشمسية المبنية على أساس الوصلة PIN أساسها التيار الجرفي. ثم يضاف للوصلة (PIN) في الجهة التي يرد إليها الضوء طبقة ناقلة وشفافة تسمى طبقة غير عاكسة (Transparent Conducting Oxide (TCO) لزيادة معامل التحويل الضوئي. وفي الجهة الأخرى تضاف طبقة وصل معدني Metal contact وتسمح هاتان الطبقتان بإجراء وصلات معدنية ناقلة تسمح بأخذ التيار [6]. تسمى العلاقة ما بين الجهد المطبق على أقطاب الخلية والتيار المار فيها خواص (الفولت-أمبير) يمكن أن تقاس هذه المعطيات بمعزل عن الضوء وتسمى تيار الظلام أو تقاس تحت تأثير الضوء وتسمى عندئذ تيار الإضاءة.



الشكل (2): المميزة (تيار-جهد) للخلية في الظلام وفي الإضاءة

وتعتبر الخلية الشمسية بمثابة ثنائي قطب عندما تكون غير مضاءة وعند دراسة تغير التيار بدلالة الجهد المطبق في حالتها الانحياز الأمامي والعكسي نحصل على المنحنى المنقط المبين في الشكل (2).

وعند إضاءة الخلية الشمسية وفي الحالة المثالية سيتولد أزواج من (إلكترون-ثقب) بواسطة الضوء بصورة منتظمة وذلك عندما تكون الخلية مضاءة بضوء طول موجته مناسب يعطي فوتونات ذات طاقة قريبة لطاقة المجال المحظور في نصف الناقل. وبالتالي عند دراسة علاقة التيار بالجهد المولد في هذه الحالة سنحصل على المنحني المستمر المبين بالشكل.



الشكل (3): رسم توضيحي للدائرة المكافئة للخلية الشمسية

ويوضح الشكل (3) الدارة المكافئة للخلية الشمسية بعد الأخذ بالحُسابان المقاومة التسلسلية ومقاومة التوازي وبالتالي توصف مميزات تيار-جهد للخلية الشمسية بالمعادلة الآتية [6,8]:

$$J(V) = J_o \left[\exp \frac{q(V - JR_s)}{nkT} - 1 \right] + \frac{V - JR_s}{R_p} - J_{ph}(V) \quad (1)$$

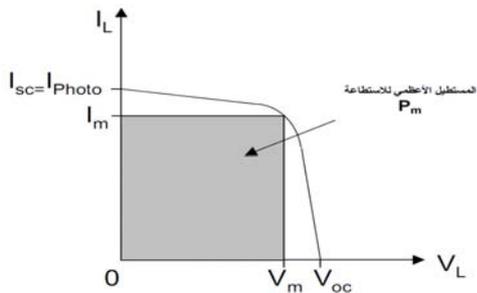
حيث: $J(V)$ كثافة التيار المار في الخلية. V الجهد المولد في الخلية. R_s المقاومة التسلسلية للديود PIN. R_p مقاومة التوازي للديود PIN. n عامل المثالية للديود، J_o كثافة تيار الإشباع العكسي المار في الخلية، T درجة الحرارة المطلقة، k ثابت بولتزمان، $J_{ph}(V)$ كثافة التيار المنتج بالضوء.

يعطي الحدان الأوليان من المعادلة تيار الظلام للديود بينما يضيف الحد الثالث تأثير الضوء. كما نشاهد فإن تيار الضوء هو تيار عكسي يسير في عكس التيار المار في الديود عند تطبيق فرق كمون أمامي مما يجعل إمكانية استثمار الخلية بوصفها منبع تيار صالح في الربع الرابع من مخطط تيار جهد.

ويمكن استخراج القدرة الخارجة من الخلية الشمسية في الشكل السابق وذلك برسم أكبر مستطيل ممكن ضمن المنحني الموجود في الربع الرابع حيث تمثل مساحته هذه القدرة.

متغيرات الخلية الشمسية

يتم تشغيل الخلية الشمسية في الربع الرابع من الخط البياني حيث يمكن استخلاص الطاقة من الخلية وبالتالي



فإن هذا الربع هو الجزء المهم من المنحني المميز ولذلك فإنه من المتعارف عليه في معظم المراجع العلمية أن يتم رسم هذا الجزء من الخط البياني وذلك بشكل معكوس على محور الفولت كما هو مبين في الشكل (4) [7].

الشكل (4): الميزة ومتغيرات الخلية الشمسية في الربع الأول

تستخدم عادة أربعة متغيرات لدراسة ما يخرج من الخلية الشمسية، الشكل (4). وهذه المتغيرات هي:

1- تيار قصر الدارة I_{sc} (short circuit current): ويساوي التيار الناتج بوساطة الضوء عند فرق

كمون قيمته صفر، أي يتم الحصول عليه عند قصر الدارة. $I_{sc} = I_{ph}$

2- جهد الدارة المفتوحة V_{oc} (open circuit voltage): ونحصل عليه عندما لا يمر تيار عبر الخلية، أي

بجعل التيار معدوماً في المعادلة (1). حيث $I = J \times A$ و A سطح الخلية.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1\right) \quad (2)$$

وتتحدد قيمة V_{oc} بخصائص نصف الناقل لاعتمادها على تيار الإشباع، ولا تتولد أي قدرة في الدارة المفتوحة

أو المقصورة. وتؤخذ الاستطاعة من الخلية عند نقطة الاستطاعة العظمى P_m أي عند نقطة العمل المعينة بـ I_{mp} و

V_{mp} ، في الربع الرابع وتكون مساوية لمساحة المستطيل في الشكل (5)، بحيث نجعل هذه الاستطاعة أكبر ما يمكن.

$$P_m = I_{mp} \times V_{mp} \text{ أي:}$$

3- عامل الامتلاء FF : وهو يعطي نسبة السطح المحصور عند نقطة العمل المثلى إلى السطح المحصور

من مميزة تيار-جهد في الربع الرابع للخط البياني. أي هو مقياس لمدى مربعية خصائص الخرج، وقيمه بالنسبة

للخلايا ذات الكفاءة المقبولة بين (0.7 - 0.85) [4].

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (3)$$

4- كفاءة تحويل الطاقة الشمسية (المردود) η فيمكن التعبير عنه بالعلاقة الآتية:

$$\eta = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (4)$$

حيث P_{in} هي القدرة الكلية للضوء الوارد على الخلية. ومعدل كفاءة تحويل الطاقة الشمسية للخلايا الشمسية

التجارية يقع عادة بين % (12 - 14) [4].

إن للمقاومة التسلسلية في الخلية الشمسية ثلاثة أسباب وهي أولاً حركة التيار عبر باعثة قاعدة الخلية الشمسية،

ثانياً مقاومة التلامس بين المعدن الوصلات والسيليسيوم، ثالثاً مقاومة الوصلات العلوية والسفلية. والتأثير الرئيسي

للمقاومة التسلسلية هو التقليل من عامل الامتلاء، على الرغم من أن القيم العالية جداً، ربما تقلل أيضاً من تيار قصر

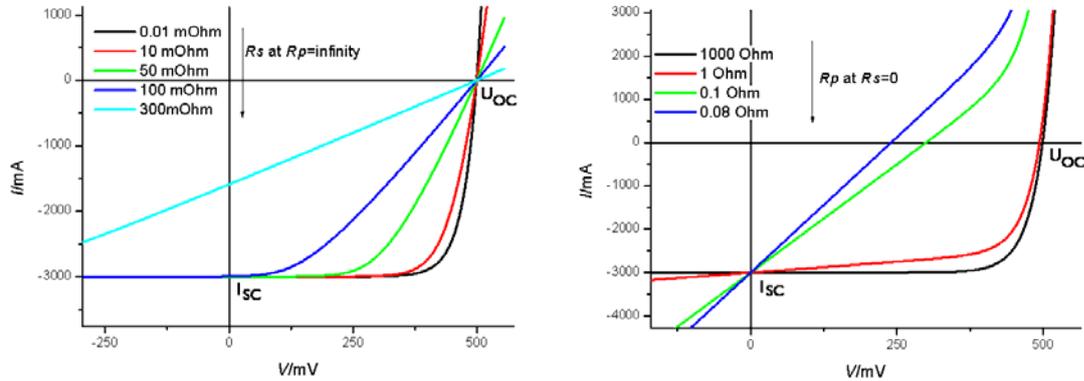
الدارة. أما المقاومة التفرعية فتسبب خسائر كبيرة في القدرة، وعادة ماتكون نتيجة عيوب في التصنيع، وإن انخفاض هذه

المقاومة يتسبب في خسائر كبيرة في القدرة للخلايا الشمسية من خلال تقديم مسار تيار بديل من أجل التيار المتولد

ضوئياً، مثل هذا الانحراف يقلل من كمية التيار الذي يتدفق خلال وصلة الخلايا الشمسية ويقلل الجهد من الخلايا

الشمسية [8].

يعرض الشكل (5) تأثير المقاومة التسلسلية في الجزء الأيمن وتأثير مقاومة التوازي في الجزء الأيسر على تيار الإضاءة [9]. كما هو واضح فإن تأثير المقاومة التسلسلية قوي عند فرق كمون موجب كبير وخاصة عندما يكبر



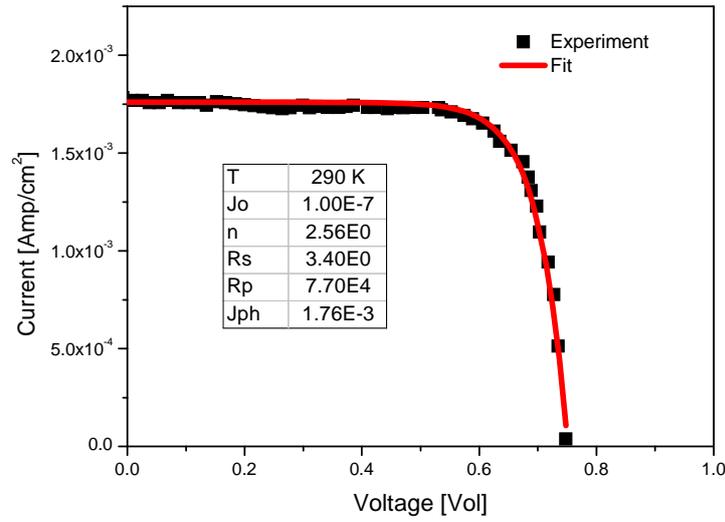
الشكل (5): تأثير المقاومة التسلسلية (يمين) ومقاومة التوازي (يسار) على مميزة تيار-جهد

التيار ويسبب ميولا في الجزء الصاعد من التيار. بينما نلاحظ أن تأثير مقاومة التوازي يشتد عند فولتات أصغر ويظهر ميولا قوية عند نقطة الصفر فولت كلما صغرت مقاومة التوازي. في كلا الحالتين ومن أجل معامل امتلاء كبير للخلية نحتاج إلى مقاومة تسلسلية أصغر ومقاومة تفرعية أعظمية مما يجعل شكل ميزات تيار-جهد أقرب إلى المربع في الربع الرابع من المنحني تيار-جهد. وبالتالي فإن القدرة على التحكم بهذه القيم وتغييرها في الاتجاه المطلوب قدر الإمكان يطور أداء الخلية.

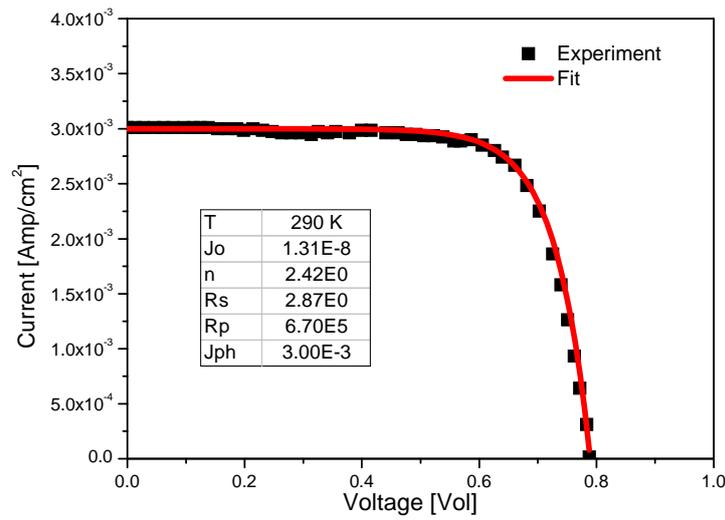
النتائج والمناقشة:

إن وجود التيار (J) في طرفي المعادلة (1) فضلاً عن كثرة المتغيرات وتابعة كل منها للحرارة ولشدة الإضاءة يجعل عملية ملائمة المميزات أكثر تعقيداً. لذلك استخدمت هنا الملائمة الحاسوبية للقياسات الحاصلة بدرجة حرارة المخبر من أجل ثلاث شدات إضاءة مختلفة $(15, 25, 35) mW/cm^2$ باستخدام لمبة هالوجين باستطاعة $100 W$.

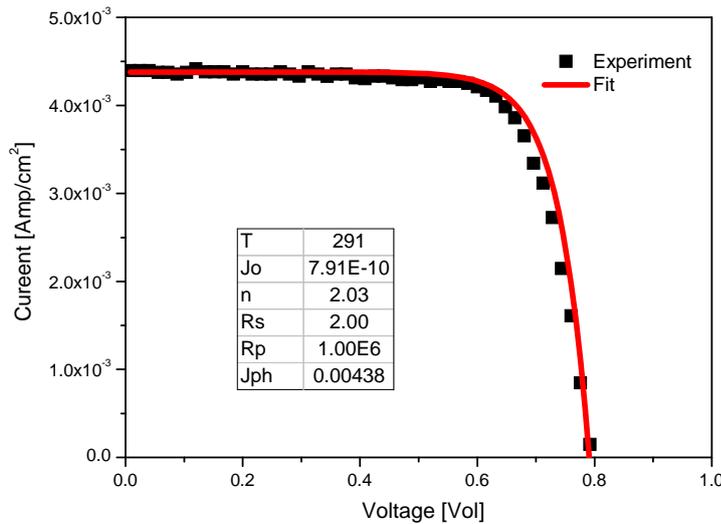
أجريت عملية الملائمة المثلى للمميزات التجريبية باستخدام برنامج حاسوبي OriginPro. وفيما يأتي النتائج التي حصلنا عليها بتحليل المميزات التجريبية تحت شدات الإضاءة المختلفة. تبين الأشكال الآتية (6, 7, 8) القياسات التجريبية للمميزات (تيار-جهد) تحت تأثير الضوء وعملية ملائمتها بحسب العلاقة (1) النظرية والتي تصف هذه المميزات، إذ تعرض النقاط القيم التجريبية بينما تعرض الخطوط المتصلة الملائمة الحاسوبية. وكما هو واضح تحاكي عملية الملائمة القيم التجريبية إلى حد بعيد وبالتالي تعطي قيم المتغيرات بشكل جيد وخاصة قيم التيار الضوئي وقيم مقاومة التوازي ومقاومة التسلسل اللتين تؤثران بشكل قوي على شكل المنحني عند المرور بمحور التيار وعند قيم كمون عالية. وقد أنجزت القياسات على الخلية الشمسية المدروسة بدرجة حرارة المخبر وشدات الإضاءة $(15, 25, 35) mW/cm^2$ للتأكيد على مدى الثقة في عملية الملائمة. فضلاً عن ذلك فإن المقياس لوغاريتمي مما يجعل الفروق الصغيرة تظهر بشكل واضح.



الشكل (6): مميزة تيار جهد وقيم متغيرات الخلية الشمسية المدروسة من أجل شدة ضوئية [15 mW]



الشكل (7): مميزة تيار جهد وقيم متغيرات الخلية الشمسية المدروسة من أجل شدة ضوئية [25 mW]



الشكل (8): مميزة تيار جهد وقيم متغيرات الخلية الشمسية المدروسة من أجل شدة ضوئية [35 mW]

يلاحظ من الخط البياني للمميزات أن الاستطاعة المأخوذة من الخلية الشمسية تتزايد بتزايد شدة الإضاءة. وهذا التزايد سببه الزيادة في الجهد V_{oc} في دائرة الفتح وذلك بالتوافق مع الزيادة الخطية للتيار الضوئي بزيادة الشدة الضوئية. ومن جهة أخرى، هناك زيادة خطية في تيار قصر الدارة J_{sc} التي تسببها الزيادة في تركيز حوامل الشحنة الأقلية عند شدات إضاءة مرتفعة [8].

يلاحظ من الشكل العام للمميزات أن قيم معامل الامتلاء مرتفعة وهذا يعود إلى ارتفاع في ثابتة الامتصاص الضوئي لمادة السيليسيوم.

والجدول (1) يعرض نتائج القياسات لتقييم الخلية الشمسية الميكروبلورية المهدرجة من أجل شدات الإضاءة المختلفة.

الجدول (1) :يبين نتائج القياسات لتقييم الخلية الشمسية الميكروبلورية المهدرجة من أجل شدات الإضاءة المختلفة.

P_{in} [mW/cm ²]	J_{sc} [mA/cm ²]	V_{oc} [V]	$JV_{(max)}$ [mW/cm ²]	FF [%]	η [%]
15	1.8	0.75	0.922	68.3	6.1
25	3	0.79	1.64	69.2	6.5
35	4.4	0.81	2.65	74.4	7.5

تبيّن نتائج الجدول التآثر الواضح في قيمة تيار قصر الدارة J_{sc} وكذلك الاستطاعة العظمى $JV_{(max)}$ بازدياد شدة الإضاءة الواردة وهذا مايعني زيادة في حاملات الشحنة الأقلية نتيجة زيادة الامتصاص، بينما قيمة V_{oc} كمون دائرة الفتح تبقى من دون تغيير تقريباً [11].

أما الجدول (2) فيعرض قيم متغيرات الخلية الشمسية المدروسة الميكروبلورية المهدرجة باستخدام طريقة الملاءمة الحاسوبية للقيم التجريبية لمميزات تيار جهد من أجل شدات إضاءة مختلفة.

الجدول (2): يبين قيم متغيرات الخلية الشمسية المدروسة الميكروبلورية المهدرجة

باستخدام طريقة الملاءمة الحاسوبية للقيم التجريبية لمميزات تيار جهد من أجل شدات إضاءة مختلفة.

P_{in} [mW/cm ²]	J_0 [A/cm ²]	n [--]	R_s [Ω]	R_p [Ω]	J_{ph} [Acm ⁻²]	J_{sc} [Acm ⁻²]	V_{oc} [V]	$JV_{(max)}$ [mW]
15	1E-7	2.56	3.4	7.7E4	1.8E-3	1.8E-3	0.75	0.922
25	1.31E-8	2.42	2.87	6.7E5	3E-3	3E-3	0.79	1.64
35	7.91E-10	2	2	1E6	4.4E-3	4.4E-3	0.81	2.65

ومن هذا الجدول نجد أن القيم المستنتجة بعملية الملاءمة لقياسات المميزات أن قيم المقاومة R_s صغيرة وهذا ما يشير إلى جودة في الوصلة الكهربائية وربما تتناقص قيمتها بزيادة الإشعاع تساهم به زيادة الناقلية الكهربائية للطبقة الفعالة خارج منطقة النضوب للخلية الشمسية بزيادة الإشعاع. ومن جهة أخرى، إن مقاومة التوازي R_p تكون صغيرة عند شدات إضاءة صغيرة وهذا يشير إلى أن التيارات المنسربة كثيرة وقد يكون ذلك عائداً إلى وجود عيوب طولية أو بنى عمودية الشكل قد تسرب تيارات على سطوح الخلية الشمسية. لذلك يمكن أن يؤدي هذا التغيير في المقاومة دوراً سلبياً في أداء الخلايا المصنوعة من السيليسيوم المهدرج على أساس الأفلام الرقيقة. مما يقود إلى تدهور عمل الخلية [10]. لذا يجب تحسين قيمة هذه المقاومة وهذا يمر عبر فهم آلية نشوء مقاومة التوازي.

تظهر القيم المستخلصة لمعامل المثالية للديود أنها كبيرة - نوعاً ما - عند شدات إضاءة ضعيفة وهذا قد يعود إلى وجود تيارات موازية والتيارات إعادة اتحاد تنشأ على السطوح أو العيوب وتكون على حساب تيار الخلية. تساهم مثل هذه التيارات بخفض مردود الخلية وتراجع معامل الامتلاء.

الاستنتاجات والتوصيات:

من قياس مميزات (تيار-جهد) للخلية الشمسية بشدات ضوئية مختلفة تم الحصول بشكل مباشر من المنحنيات الناتجة على المتغيرات الأساسية للخلية الشمسية وهي: كثافة تيار قصر الدارة J_{sc} ، جهد الدارة المفتوحة V_{oc} ، عامل الامتلاء FF ، وكفاءة تحويل الطاقة الشمسية (المردود) η . أما من أجل الحصول على متغيرات الخلية الشمسية مثل تيار الإشباع J_0 وعامل جودة الخلية n والمقاومة التسلسلية R_s ومقاومة التوازي R_p والتيار الإضاءة J_{ph} فقد استخدمت طريقة ملاءمة المميزات التجريبية لتيار-جهد على العلاقة النظرية $J(V)$ التي تصف هذه المميزات في الإضاءة باستخدام برنامج OriginPro. وقد لوحظ بشكل واضح أن عملية الملاءمة تحاكي القيم التجريبية إلى حد كبير ومن ذلك حصلنا على نتائج جيدة للمتغيرات التي يجب العمل على التحكم بقيمتها وتغييرها في الاتجاه المطلوب قدر الإمكان لما لها من فائدة كبيرة تتمثل في تطوير أداء الخلية الشمسية.

وأخيراً تظهر الدراسة السابقة والعمل التجريبي أن السيليسيوم الميكروبلوري يمتلك قدرة جيدة على امتصاص الضوء وهذا ما يبيته معامل الامتلاء الكبير للخلية الشمسية السليكونية PIN وأن الخلايا المصنوعة منه تتمتع بمواصفات نقل جيدة مما يشير ذلك إلى وجود تركيز ضعيف للعيوب الصائدة لحوامل الشحنة. وهذا ما يمكن أن يجعل من مادة السيليسيوم الميكروبلوري الخيار الأفضل لبناء طبقات الامتصاص المصنوعة على أساس الأفلام الرقيقة.

المراجع:

- [1]. WILLEM J., *Thin Film Silicon Tripl Junction Solar Cells: Device Characterization and Simulated Outdoor Performance*, Universiteis Utrecht, Physics of Devices, 2007.01 , NWS-I-2007-6.
- [2]. KHAN F., ET AL. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 94 (2010) 1473–1476
- [3]. GREULICH J., GLATTHAAR M., and REIN S., *Fill factor analysis of solar cells current-voltage*, *Prog. Photovolt Res. Appl.*18 (2010)511-515.
- [4]. CHEGAAR M., OUENNOUGHI Z., GUECHI F., and LANGUEUR H., *Determination of Solar Cells Parameters under Illumination Conditions*, *Journal of Electron Devices*, Vol. 2, 2003, pp. 17-21.
- [5]. LAL PRIYANKA M., SINGH S., N., *A new method for the measurement of series and shunt resistance of silicon solar cells*, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 91 (2007) 137–142.
- [6]. KOŁODZIEJ A., *Improvement in silicon thin film solar cell efficiency* , *Opto-Electron. Rev.*, 11, no. 4, 2003 , Warsaw
- [7]. S. M. SZE, *Physics of Semiconductor devices*, John Willy & Sons Inc., ISBN 0471-09837-X, 1981.
- [8]. FIROZ K., SINGH S.N., HUSAIN M., *Effect of Illumination Intensity on Cell Parameters of a Silicon Solar Cell*, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Elsevier, Science-Direct, 2010, 94, p. 1473-1476.
- [9]. PVEDUCATION . ORG
- [10]. JEN-CHENG W., JYH-CHERNG S., YU-LI S., ET AL. *A Novel Method for the Determination of Dynamic Resistance for Photovoltaic Modules*, *Energy*, 2011, 36, p. 5968-5974.
- [11]. ARORA J. D., VERMA A. V., MALA B., *Variation of series resistance with temperature and illumination level in diffused junction poly- and single-crystalline silicon solar cells*, *Journal of Materials Science Letters*, 1986, 5(12), p. 1210-1212.