

دراسة تأثير تغير سمك الطبقة الماصة CdTe على كفاءة الخلية الشمسية CdTe / CdS:O

Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> / باستخدام برنامج المحاكاة SCAPS-1D.

عوض خضير محمود

وزارة التربية / المديرية العامة للتربية في محافظة نينوى/قسم الاشراف الاختصاصي

wwd1876@gmail.com

المستخلص:

تم استخدام برنامج المحاكاة SCAPS-1D وهو برنامج محاكاة لِسعة الخلية الشمسية أحادي البعد صُمم في قسم الإلكترونيات ونُظِم المعلومات التابع لجامعة Gent في بلجيكا، لمحاكاة الخلية الشمسية المعتمدة في هذا البحث. وكانت نقطة الانطلاق هي بالاعتماد على تصميم الخلية الشمسية التقليدية المتكونة من ثلاث طبقات هي طبقة الامتصاص Absorber Layer المصنوعة من الكادميوم تيلورايد CdTe، والطبقة النافذة Window Layer المصنوعة من ستانيت الزنك Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> والطبقة الخازنة Buffer layer المصنوعة من كبريتيد الكادميوم المؤكسج CdS:O لتصبح لدينا الخلية الشمسية { CdTe/CdS:O / Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> } تم تغيير سمك طبقة الامتصاص من 0.1-2.8 μm وبزيادة مقدارها 0.3 μm لكل قراءة وكان افضل سمك لطبقة الامتصاص p-CdTe.(Absorber0Layer) مقدارها 2.8 μm وكان سمك الطبقة النافذة (Window Layer) Zn<sub>2</sub>SNO<sub>4</sub> - n مقدارها 0.05 μm. تم ادخال طبقة عازلة (Buffer Layer) n- CdS:O بسمك 0.025 μm، يستفاد من هذه الطبقة بانها تمنع عملية الاتصال الامامي او التسريب الامامي بالنسبة لحاملات الاقلية (الفجوات) ويكون هذا التسرب غير مرغوب فيه بسبب تكون طبقة عازلة ونشطة كيميائياً. وكانت درجة حرارة التشغيل (300K)، وكانت أعلى كفاءة تحويل تم الحصول عليها (eta=21.96%) مع بقية معلمات الخلية الشمسية (V<sub>oc</sub>=0.8888volt. J<sub>sc</sub>=29.0658 mA/cm<sup>2</sup>. FF=85.0363%)

إن الاستمرار في زيادة سمك الطبقة الماصة طبيعي أنه سيؤدي الى زيادة كفاءة الخلية الشمسية لكن هذه الزيادة سوف تؤدي الى زيادة الكلفة المالية للخلية أضافة الى جعل سمك هذه الطبقة اكثر الى مئات المرات من سماك طبقات الخلية الاخرى.



الكلمات الدالة: الخلية الشمسية (CdTe / CdS:O / Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>) , برنامج المحكاة  
(SCAPS-1D)

**Studingthe effect of changing the thickness of the absorbent layer  
efficiency on the solar College CaTe/CdsSCAPS-1D Using TheZn2Sno4  
Simulation Software**

Awad Khudair Mahmoud

Ministry of Education /Directorate General of Ninevehrife/ Department of  
Supervisory  
wwd1876@gmail.com

**Abstract:**

SCAPS-1D, a one-dimensional solar cell capacitance simulation software developed at the Department of Electronics and Information Systems at Ghent University in Belgium, was used to simulate the solar cell used in this research. The starting point was to rely on the traditional solar cell design. It consists of three layers: the Absorber Layer made of Cadmium Telluride (CdTe). And the window layer made of zinc stannate (Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>). And the buffer layer made of oxygenated cadmium sulfide (CdS:O). resulting in the solar cell. {CdTe/CdS:O / Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>}. The thickness of the absorption layer was changed from (0.1-2.8) μm with an increase of (0.3μm) and the best thickness of the absorption layer (Absorber Layer.p-CdTe) was (2.2μm). The thickness of the window layer (n-Zn<sub>2</sub>SNO<sub>4</sub>) is (0.05 μm). A buffer layer (n-CdS:O) with a thickness of (0.025 μm) was inserted. This layer is useful in that it prevents the forward contact process or forward leakage for minority carriers (holes). This leakage is undesirable due to the formation of an insulating and chemically active layer. Operating temperatures: 300K. The highest conversion efficiency was obtained (η=21.96%) with the rest of the solar cell parameters (V<sub>oc</sub>=0.8888(V), (FF=85.0363%), (J<sub>sc</sub>=29.0658 mA/cm<sup>2</sup>).

While increasing the thickness of the absorbing layer naturally enhances the solar cell's efficiency, this increase raises the cell's financial cost and results in a layer that is hundreds of times thicker than the cell's other layers.



Keywords: Solar cell ( $\text{CdTe}$  /  $\text{CdS:O}$  /  $\text{Zn}_2\text{SnO}_4$ ), simulation program (SCAPS-1D)

### المقدمة: Introduction

تُعدُّ الخلايا الشمسية من أهم الاختراعات التي ظهرت في العصر الحديث والتي تمكن الإنسان بفضلها من تأمين جزء كبير ولا بأس به من إحتياجاته اليومية للطاقة الكهربائية وهي عبارة عن نبائط ضوئية تعمل على تحويل الأشعاع الكهرومغناطيسي (الضوء) القادم من الشمس إلى طاقة كهربائية قابلة للاستعمال اليومي [1], كما يُستفاد منها أيضاً في التطبيقات الأرضية والفضائية على حد سواء, فالخلايا الشمسية تقوم بتجهيز القدرة الكهربائية للتوابع الأرضية لفترة طويلة دون نفاذ او كلفة عالية, كما تُعد بديلاً محتملاً قوياً لمصادر الطاقة للإستخدامات الأرضية التقليدية, لأنها تستطيع بسهولة أن تحوّل الطاقة الشمسية مباشرة الى طاقة كهربائية بكفاءة تحويل جيدة وكذلك بإستطاعتها تجهيز قدرة كهربائية جيدة تكاد تكون دائمية بتكاليف تشغيل واطئة كما أنها لا تسبب التلوث للبيئة [2]. وقد ظهرت تقنية الأغشية الرقيقة متعددة الكريستالات في العقود الأخيرة ودخلت في المنافسة المباشرة مع السليكون متعدد البلورات لإنتاج الطاقة الكهربائية مباشرة من ضوء الشمس, والذي لا يزال يهيمن على سوق الطاقة الكهروضوئية.

على الكاديوم تيلورايد ( $\text{CdTe}$ ) هي أكثر مرشح واعد لتحويل الطاقة الكهروضوئية بسبب الإمكانيات العالية لتحقيق تكلفة منخفضة وكفاءة عالية واستقرار أكثر من بين الخلايا الشمسية [3]. والكاديوم تيلورايد ( $\text{CdTe}$ ) هو مركب من أشباه الموصلات يقع ضمن الجدول الدوري (VI -- II) مع فجوة نطاق بصري مباشر (فجوة الطاقة المحظورة) تبلغ ( $1.5 \text{ eV}$ )، والتي تتوافق تقريباً بشكل مثالي مع طاقة الطيف الشمسي, إذ يحتوي على معامل إمتصاص كبير أكبر من ( $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ ) وهذا يعني أن 99% من الفوتونات ذات الطاقة الأكبر او مساوية من فجوة النطاق يمكن إمتصاصها ضمن سُمك ( $2\mu\text{m}$ ) [4]. وقد حَققت خلايا الكاديوم تيلورايد عملياً كفاءة تحويل بنسبة (16.5%) في المختبرات بينما بلغت كفاءتها في الوحدات التجارية (11%) حيث يتم تصنيع الكاديوم تيلورايد ( $\text{CdTe}$ ) مختبرياً بإستخدام مجموعة متنوعة من التقنيات العلمية منخفضة التكلفة مثل تسامي الفضاء القريب Closed Space Sublimation (CSS). وترسيب البخار الكيميائي Chemical Vapor

deposition (CVD). وترسيب الحمام الكيميائي Chemical bath deposition (CBD) [3]. ومع كل ما ذُكر من خصائص خلايا الكاديوم تيلورايد  $\text{CdTe}$  فإن إستقرار هذه الخلايا الشمسية كطبقة إمتصاص تعاني من مشكلة الإتصال الخلفي غير الأومي لها, الشمسية. كما يوفر



إستخدام طبقة (BSF) أيضًا لإستقرار للخلية الشمسية عند درجات الحرارة المرتفعة مقارنة بالخلايا الشمسية التقليدية [٥]. وأصبحت خلايا الكادميوم تيلورايد CdTe أكثر جاذبية للباحثين والإعلانات التجارية بما تمتاز به من انخفاض في تكلفة الإنتاج والكفاءة العالية وفجوة نطاق مباشرة (فجوة طاقة مباشرة) الذي يتوافق جيداً مع طاقة أطيف ضوء الشمس وكفاءة امتصاص مثالية لها [6]. تمت محاكاة الخلايا الشمسية في هذا البحث بالاعتماد على البرنامج الحاسوبي SCAPS-1D ( Solar Cell Capacitance Simulator) وهو برنامج لمحاكاة الخلية الشمسية أحادي البعد والذي صُمم في قسم الإلكترونيات ونُظم المعلومات (ELIS) التابع لجامعة Gent في بلجيكا، حيث تم تطوير البرنامج الأصلي لهياكل عائلة مجموعة الكادميوم تيلورايد CdTe والمجموعة CuInSe<sub>2</sub>, والتطورات الأخيرة على البرنامج جعلته ينطبق على الخلايا الشمسية البلورية مثل (GaAs, Si) وكذلك الخلايا الشمسية الغير بلورية، والبرنامج متاح مجاناً لمجتمع البحوث الكهروضوئية (الجامعات ومعاهد البحوث) [7]. قام باحثون عدة بإضافة طبقة الإنعكاس الخلفية (BSF) للخلايا

الشمسية المتكونة من ثلاث طبقات هي (الامتصاص والنافذة وطبقة أوكسيد التوصيل الشفاف) ودراسة تأثير إضافة هذه الطبقة على منحنى الخواص الكهربائية (I-V), إذ قام الباحث في المصدر [8]. وباستعمال البرنامج الحاسوبي SCAPS-1D في التّحقق من الخلايا الشمسية المعتمدة الى الكادميوم تيلورايد CdTe للحصول على كفاءة عالية، حيث قام الباحث بالتعديل على بُنية الخلية الشمسية CdTe/CdS/SnO<sub>2</sub> وذلك بإضافة طبقة ستانات الخارصين ZTO بين الطبقة النافذة وطبقة التوصيل الأمامي , واستبدال طبقة CdS ذات فجوة الطاقة (2.42eV) بمادة كبريتيد الكادميوم المؤكسد SdS:O ذات فجوة الطاقة (3.17 eV) ودرس الكفاءة الكمية (QE) وخصائص المنحنى I-V للخلية وتأثير سُمك الطبقة النافذة على أداء الخلية وحصل على الكفاءة للخلية المعتمدة Glass/SnO<sub>2</sub>/ZTO/CdS:O/CdTe<sub>1-x</sub>S<sub>x</sub>/CdTe/Ni وكانت النتائج التي حصل عليها كالآتي: [Voc=0.883V, Jsc=24.21mA/cm<sup>2</sup>, FF=80.41%, η=17.30%]: كما أضاف الباحث طبقة عاكس السطح الخلفي (BSR) ودرس تأثيرها على أداء الخلية الشمسية وذلك باستعمال ZnTe كطبقة (BSR) إذ لاحظ زيادة في معلمات الإخراج للخلية الشمسية وكما يأتي: [Voc=1.07V, Jsc=25.86mA/cm<sup>2</sup>, FF=77%, η=21.59%].

كما قام الباحث في المصدر [9] بدراسة أداء خلية الكادميوم تيلورايد CdTe فائقة الرقة باستخدام برنامج المحاكاة AMPS من حيث منحنى الخواص الكهربائية (I-V) ووجد أن سُمك



صغير بحدود ( $1\mu\text{m}$ ) لطبقة الامتصاص CdTe يمكن أن تُعطي كفاءة تحويل مقبولة، وذلك بإضافة طبقة الانعكاس الخلفية (BSF) التي تعمل على تقليل خسائر إعادة التركيب عند التلامس الخلفي، حيث كانت النتائج التي حصل عليها الباحث عند استخدام الخلية ( $\text{CdTe/CdS/SnO}_2$ ) [  $V_{oc}=1.02\text{V}$ ,  $J_{sc}=21.47\text{mA/cm}^2$ ,  $FF=85\%$ ,  $\eta=18.68\%$  ] قبل إضافة طبقة (BSF)، وبعد إدخال سُمك ( $100\text{ nm}$ ) من طبقة ZnTe الى الخلية الشمسية التقليدية كطبقة (BSF) مع تقليل سُمك CdTe طبقة الإمتصاص الى ( $0.8\text{ }\mu\text{m}$ ) أصبحت النتائج التي حصل عليها الباحث كالتالي:

$$[ V_{oc}=1.06\text{V}, J_{sc}=24.28\text{mA/cm}^2, FF=87\%, \eta=22.58\% ]$$

كما وجد الباحث عند التحليل الحراري للخلية الشمسية المقترحة إنه بوجود BSF تكون الخلية أكثر كفاءة وثبات.. قام (الباحث في المصدر [10] بتعديل الخلية الشمسية التقليدية ( $\text{CdTe/CdS:O/ZnO/SnO}_2$ )، باستخدام برنامج المحاكاة SCAPS 1-D، وذلك بإضافة طبقة BSF التي تعمل على تحسين كفاءة الخلية مع السمك الأمثل لطبقة الامتصاص، وتحل مشكلة التلامس الأومي في السطح الخلفي، كانت نتائج منحنى الخواص الكهربائية (I-V) قبل إضافة BSF هي مايلي:

$$(J_{sc}=28.58\text{mA/cm}^2, FF=0.80\%, \eta=14.87\%$$

### تركيب الخلية الشمسية وطرق البحث

يُعدُّ برنامج SCAPS-1D (Solar Cell Capacitance Simulator) أحد برامج محاكاة الخلايا الشمسية أحادي البعد الذي صُمِّم في بلجيكا في جامعة (Gent)، حيث ساهمت النماذج العددية بشكل فعال في تصميم الأنواع المختلفة من الخلايا الشمسية، حيث يتم الحصول على الحلول والنمذجة العددية عن طريق تقديم فرضيات عملية والذي يُستخدم في التحليل العددي، وتُستخدم هذه الحلول للحصول على التفاصيل العملية لخلايا الطاقة الشمسية وبشكل نظري، ويمكن من خلال المحاكى دراسة الخلايا الشمسية تحت ظروف يتم تحديدها مسبقاً من قبل الباحث العلمي، ويسمح هذا البرنامج للمستخدم من وصف خلية شمسية مكونة من سبع طبقات كحد أقصى، وبإمكانه حل معادلات أشباه الموصلات مثل معادلة الإستمرارية Continuity Equation ومعادلة بوايسون Poisson's equation ويستخدم طريقة نيوتن-رافسون وكثافة الموجة الحاملة (الالكترونات والفجوات) ومن ضمنها معادلتى الإنجراف والانتشار، وهذه المعادلات هي على النحو التالي:



$$J_n = q\mu_n nE + qDn \frac{dn}{dx} = q\mu_n \left( nE + \frac{KT}{q} \frac{dn}{dx} \right) = nn \frac{dEF_n}{dx} \dots\dots\dots (1)$$

$$J_p = q\mu_p pE + qDp \frac{dp}{dx} = q\mu_p \left( pE + \frac{KT}{q} \frac{dp}{dx} \right) = \mu_p p \frac{dEF_p}{dx} \dots\dots\dots (2)$$

حيث  $\mathcal{E}$  - تمثل المجال الكهربائي Electric Field.

$\mu_n, \mu_p$  - التحركية نسبة للإلكترونات والفجوات على التوالي

$J_n, J_p$  - تمثل كثافة التيار نسبة للإلكترونات والفجوات على التوالي.

$D_n, D_p$  - تمثل معامل الانتشار للإلكترونات والفجوات على التوالي .

ومعادلة الإستمرارية نسبة للإلكترونات هي [11]:

$$\frac{\partial n(x)}{\partial t} = G_n(x) - R_n(x) \dots\dots\dots (3)$$

حيث  $G_n(x)$  - تمثل عملية التولد للإلكترونات.

$R_n(x)$  - تمثل معدل إعادة التركيب ومعادلة الإستمرارية نسبة للفجوات:

$$\frac{\partial p(x)}{\partial t} = G_p(x) - R_p(x) \dots\dots\dots (4)$$

حيث  $G_p(x)$  - تمثل عملية تولد الفجوات.

$R_p(x)$  - تمثل معدل إعادة التركيب .

أما معادلة بواسون Poisson's equation فهي تربط بين معادلة كثافة الشحنات والجهد الكهروستاتيكي للإلكترونات  $(\Phi)$ ، وهي تُعتبر البداية للحل النوعي للمتغيرات في الكهربية الساكنة في أشباه الموصلات [12].

$$\frac{d \ln(E(x))}{dx} \cdot \frac{d\Phi(x)}{dx} + \frac{d^2\Phi}{dx^2} = \frac{f(x)}{\epsilon(x)} \dots\dots\dots (5)$$

وفي حالة ثبات  $(\epsilon)$  تكون معادلة Poisson's equation بالصيغة الآتية:



$$\frac{d^2\Phi}{dx^2} = -\frac{f(x)}{\epsilon} \dots \dots \dots (6)$$

والتيار المار عبر الخلية الشمسية يعطى بالمعادلة:

$$\left(\exp \frac{qv}{kT} - 1\right) \dots \dots \dots (7)$$

حيث I - يمثل تيار دائرة الحمل Load Circuit Current

$I_0$  - يمثل تيار التشبع العكسي Diode Saturation Current

T - تمثل درجة الحرارة Temperature

k - تمثل ثابت بولتزمان Boltzmann Constant

ويمكن حساب فولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ ) من العلاقة الآتية:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \dots \dots \dots (8)$$

أما عامل الملئ Fill Factor يمثل النسبة بين القدرة القصوى وأقصى فولتية وكثافة تيار يمكن أن تولده الخلية الشمسية [13].

ويمكن حسابه من العلاقة الآتية:

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \dots \dots \dots (9)$$

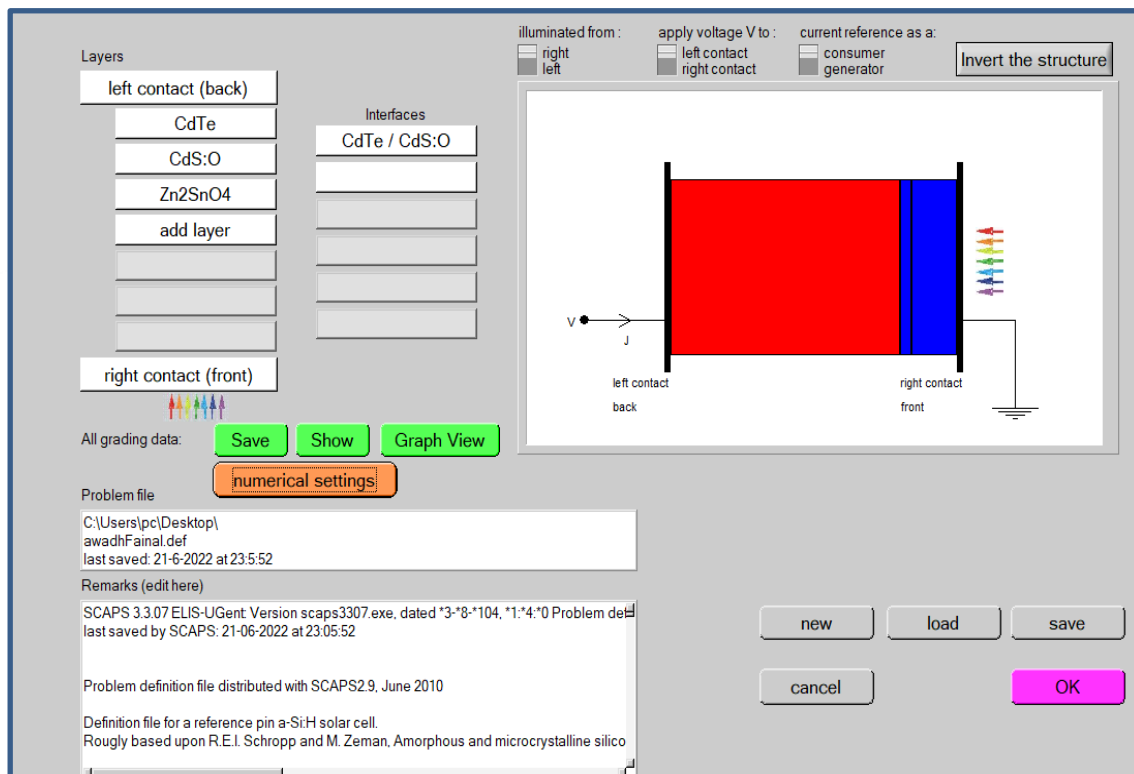
وكفاءة الخلية الشمسية Efficiency تمثل النسبة بين القدرة القصوى المتولدة من الخلية الشمسية الى القدرة الساقطة عليها ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\eta = \frac{\text{OutPut Power}(P_{out})}{\text{InPut Power}(P_{in})} \times 100\% \dots \dots (10)$$

كما يمكن كتابته معادلة كفاءة الخلية بالشكل التالي:

$$\eta = \frac{FF \times I_{sc} \times V_{oc}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (11)$$

في هذه الدراسة تم العمل على خلية الكاديوميوم تولورايد الموضحة بالشكل (١)



الشكل (1): واجهة برنامج (SCAPS 1D) للخلية المستخدمة في البحث.

باستخدام المعلمات المذكورة في الجدولين (١) و (٢) معلمات طبقات الخلية الشمسية [14-15-16].



الجدول (١) المعلومات الأساسية لطبقات الخلية الشمسية.

| Properties                                              | p-CdTe               | n-CdS:O              | n-Zn <sub>2</sub> SnO <sub>4</sub> |
|---------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| Thickness ( $\mu\text{m}$ )                             | ٠.٥                  | 0.025                | 0.05                               |
| Band gap (eV)                                           | 1.45                 | 2.8                  | 3.35                               |
| electron affinity (eV)                                  | 4.28                 | 4.5                  | 4.5                                |
| Dielectric permittivity(relative)                       | 9.8                  | 1                    | 9                                  |
| CB effective density of states ( $1/\text{cm}^3$ )      | $7.5 \times 10^{17}$ | $2.2 \times 10^{18}$ | $2.2 \times 10^{18}$               |
| VB effective density of states ( $1/\text{cm}^3$ )      | $1.8 \times 10^{19}$ | $1.8 \times 10^{19}$ | $1.8 \times 10^{19}$               |
| electron thermal velocity (cm/s)                        | $1 \times 10^7$      | $1 \times 10^7$      | $1 \times 10^7$                    |
| hole thermal velocity (cm/s)                            | $1 \times 10^7$      | $1 \times 10^7$      | $1 \times 10^7$                    |
| electron mobility ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )           | 500                  | 100                  | 32                                 |
| hole mobility ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )               | 60                   | 25                   | 3                                  |
| shallow uniform donor density ND ( $1/\text{cm}^3$ )    | 0                    | $1 \times 10^{17}$   | $1 \times 10^{19}$                 |
| shallow uniform acceptor density NA ( $1/\text{cm}^3$ ) | $1 \times 10^{15}$   | 0                    | 0                                  |
| Defect type                                             | Acceptor             | Donor                | Donor                              |

الجدول (٢) معلومات السطح البيني لمحاكاة الخلية الشمسية [16-15-14].

| Parameters                                        | n-CdS/p-CdTe        |
|---------------------------------------------------|---------------------|
| Defect type                                       | Neutral             |
| Capture Cross Section Electrons ( $\text{cm}^2$ ) | $1 \times 10^{-15}$ |
| Capture Cross Section Hole ( $\text{cm}^2$ )      | $1 \times 10^{-15}$ |
| Nt ( $1/\text{cm}^2$ )                            | $1 \times 10^{+8}$  |



### تأثير تغيير سمك طبقة الامتصاص CdTe على معلمات الخلية الشمسية

بعد تثبيت الخلية الشمسية المكونة من ثلاث طبقات {CdTe/CdS:O/Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>}، تم تغيير سمك طبقة الامتصاص من (0.1 μm) الى (2.8 μm) بزيادة مقدارها (٠.٣ μm) مع ثبات سمك الطبقة النافذة Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> عند (0.05 μm) وسمك الطبقة الخازنة CdS:O عند (0.025 μm) وتثبيت معلمات الخلية الاخرى كما في الجدولين للحصول على افضل سمك لطبقة الامتصاص CdTe تكون كفاءة الخلية عندها اعلى ما يكون، ووجد ان افضل النتائج تكون عند السمك ( 2.2 μm) وقد كانت كما يأتي:

$$\{V_{oc}=0.8846 \text{ V}, J_{sc}=28.9791 \text{ mA/cm}^2, FF=84.7004 \%, \eta=21.71 \%\}$$

اذا استمرينا في زيادة سمك طبقة الامتصاص فإن الكفاءة تزداد لكن هذا يؤدي الى زيادة في الكلفة المالية للخلية الى الحد الذي يكون عنده المردود الاقتصادي دون ذا جدوى. كما أن سمك الطبقة الماصة سيكون أكبر بكثير من سماك الطبقات الاخرى بصورة تجعل كأن الخلية الشمسية مكممة من طبقة واحدة.

قمنا في بحثنا هذا بدراسة تغيير سمك طبقة الامتصاص على معلمات الخلية الشمسية الاربعة وكانت النتائج كما موضحة في الجدول رقم (٣): وكانت هذه النتائج جيدة ومقبولة اذا ما قورنت بالنتائج الاخرى للباحثين والموضحة في الدراسات السابقة المدرجة في مقدمة بحثنا .

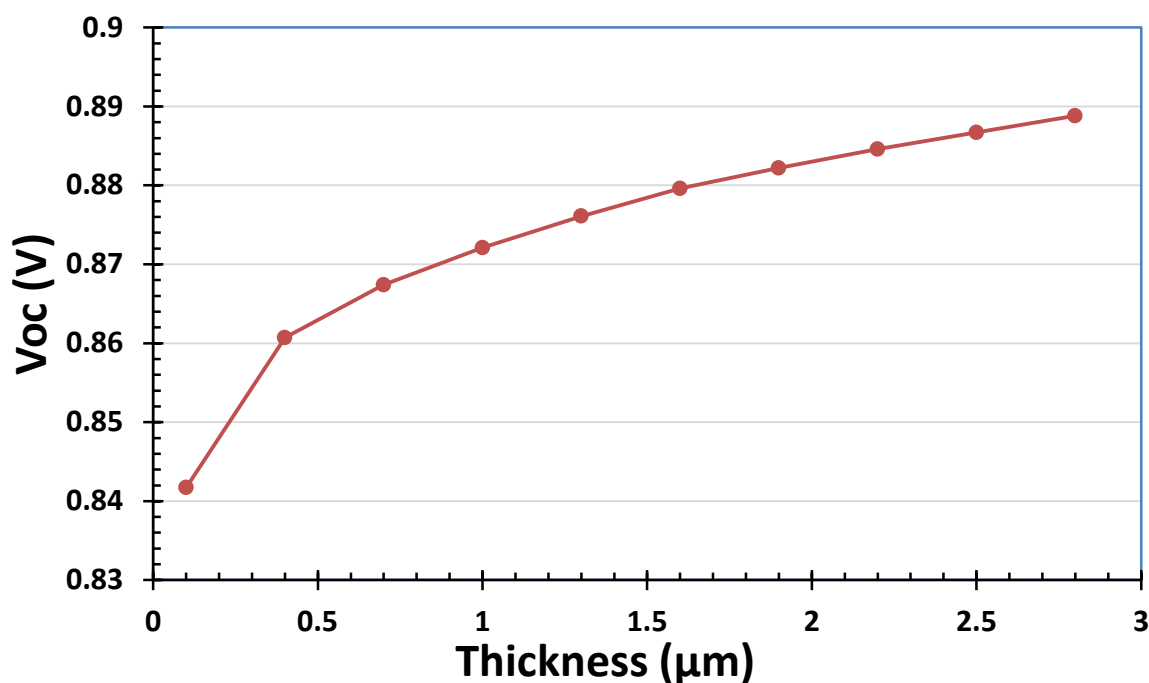
**الجدول (٣) معلمات الخلية الشمسية باختلاف سمك طبقة الامتصاص.**

| Thickness(μm) | Voc(V) | Jsc(mA/cm <sup>2</sup> ) | FF %    | Eta %   |
|---------------|--------|--------------------------|---------|---------|
| ٠.١           | ٠.٨٤١٧ | ٣.٤٢٦١                   | ٨٦.١٩٥١ | ٩.٧٤١٥  |
| ٠.٤           | ٠.٨٦٠٧ | ٢٤.٢٢٦٣                  | ٨٥.٤٣٣١ | ١٧.٨٤٤٤ |
| ٠.٧           | ٠.٨٦٧٤ | ٢٧.٢١٦٢                  | ٨٤.٤٤١٤ | ١٩.٩٣٤٨ |
| ١             | ٠.٨٧٢١ | ٢٨.٢٥٥٤                  | ٨٤.٠٣٧٩ | ٢٠.٧٠٩٢ |
| ١.٣           | ٠.٨٧٦١ | ٢٨.٦٤٨٤                  | ٨٤.٠٨٧٦ | ٢١.١    |
| ١.٦           | ٠.٨٧٩٦ | ٢٨.٨٢١٩                  | ٨٤.٢٥٩٧ | ٢١.٣٦   |
| ١.٩           | ٠.٨٨٢٢ | ٢٨.٩١٦٦                  | ٨٤.٤٨٢٨ | ٢١.٥٥   |
| ٢.٢           | ٠.٨٨٤٦ | ٢٨.٩٧٩١                  | ٨٤.٧٠٠٤ | ٢١.٧١   |
| ٢.٥           | ٠.٨٨٦٧ | ٢٩.٠٢٧١                  | ٨٤.٨٨٠٧ | ٢١.٨٥   |

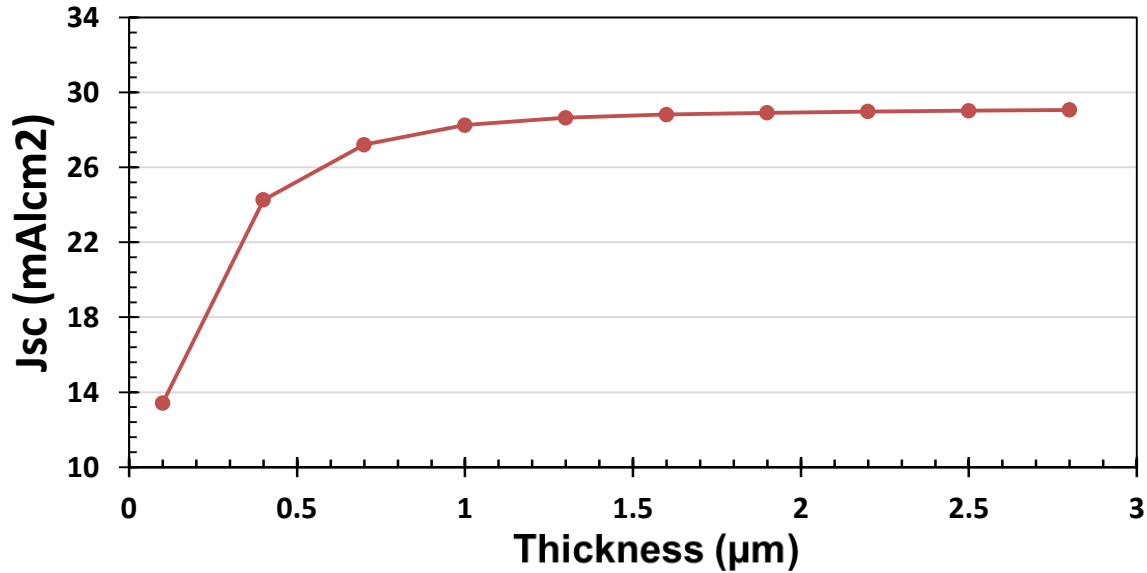


|     |        |         |         |       |
|-----|--------|---------|---------|-------|
| ٢.٨ | ٠.٨٨٨٨ | ٢٩.٠٦٥٨ | ٨٥.٠٣٦٣ | ٢١.٩٦ |
|-----|--------|---------|---------|-------|

نلاحظ عند زيادة سمك الطبقة الماصة CdTe يزداد مقدار فولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ ) كما موضح بالشكل (٢) ادناه.

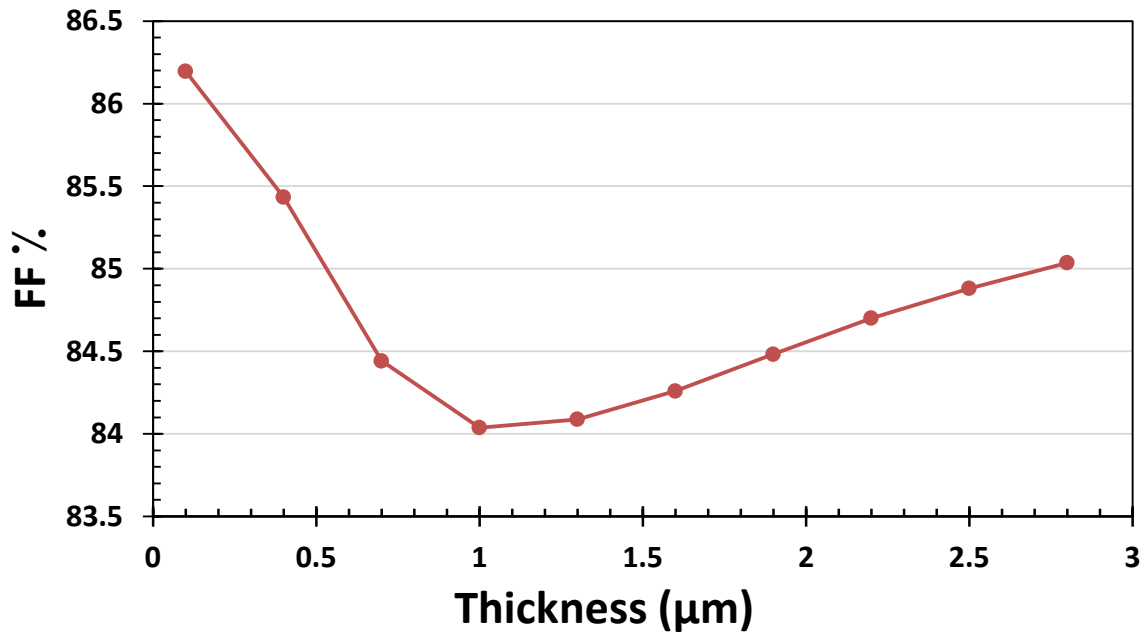


الشكل (٢): تأثير سمك الطبقة الماصة CdTe على فولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ )  
نلاحظ ان كثافة تيار دائرة القصر  $J_{sc}$  تزداد مع سمك الطبقة الماصة . كما في الشكل (٣) ادناه.



الشكل (٣): تأثير سمك الطبقة الماصة CdTe على كثافة تيار دائرة القصر  $J_{sc}$

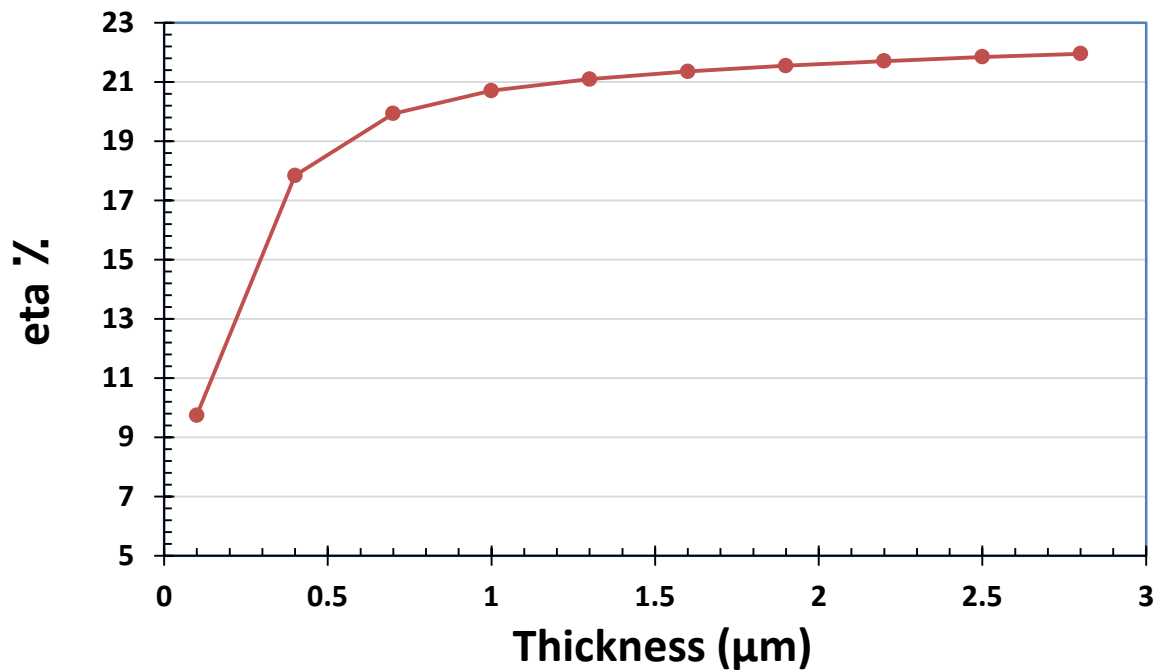
اما عامل المليء FF يتناقص مع زيادة سمك طبقة الامتصاص CdTe حتى السمك (1 μm) ثم يبدأ بالزيادة بعد هذه القيمة كما في الشكل (٤) ادناه.





الشكل (٤): تأثير سمك الطبقة الماصة CdTe على عامل المليء FF

اما كفاءة الخلية الشمسية eta تزداد مع زيادة سمك طبقة الامتصاص CdTe. كما موضح بالشكل (٥) ادناه.



الشكل (٥): تأثير سمك الطبقة الماصة CdTe على كفاءة الخلية الشمسية eta



### الاستنتاجات

من خلال هذا البحث تم التوصل الى الاستنتاجات الآتية:

- ١- استخدام برامج المحاكاة لدراسة الخلايا الشمسية يوفر الوقت والجهد في تركيب الخلايا الشمسية .
- ٢- زيادة سمك طبقة الامتصاص في الخلايا الشمسية يزيد من كفاءتها.
- ٣- ستانيت الزنك  $Zn_2SnO_4$  هو شريك جيد للكادميوم تيلورايد لعمل قطبي الخلايا الشمسية.
- ٤- اضافة طبقة عازلة BL الى الخلايا الشمسية يساعد على تقليل سمك الطبقة النافذة مع تحسين عمل الخلايا الشمسية ويعد كبريتيد الكادميوم المؤكسج  $CdS:O$  أفضل طبقة BL للخلايا الشمسية.
- ٥- أن النتائج التي حصلنا عليها هي نتائج جيدة جداً اذا ماقورنت مع النتائج التي حصل عليها الباحثين في المصادر [9] و [10] الواردة في مقدمة بحثنا.

### المصادر : References

- 1-Ramprasad Chandrasekharan ,“ NUMERICAL MODELING OF TIN-BASED ABSORBER DEVICES FOR COST-EFFECTIVE SOLAR PHOTOVOLTAICS .” A Dissertation in Energy and Geo-Environmental Engineering, 2012.
- ٢- إس . إم . زي, ترجمة الدكتور فخر غالب حياتي والدكتور حسين علي احمد , " نبائط اشباه الموصلات فيزياء وتقنية", دار الحكمة للطباعة والنشر, جامعة الموصل, (١٩٩٠).
- 3-Hossain, Sharafat, Nowshad Amin, M. A. Martin, M. Mannir Aliyu, Takhir Razykov, and Kamaruzzaman Sopian. "A NUMERICAL STUDY ON THE PROSPECTS OF HIGH EFFICIENCY ULTRA THIN  $Zn_x Cd_{1-x} S/CdTe$  Solar Cell." *Chalcogenide Letters* 8, no. 4 (2011).
- 4-Wu, Xuanzhi. "High-efficiency polycrystalline CdTe thin-film solar cells." *Solar energy* 77, no. 6 (2004): 803-814.
- 5-Teyou Ngoupo, A., S. Ouédraogo, F. Zougmore, and J. M. B. Ndjaka. "New architecture towards ultrathin CdTe solar cells for high conversion efficiency." *International Journal of Photoenergy* 2015 (2015).



6-Shoewu, O., G. Anuforonini, and O. Duduyemi. "Simulation of the performance of CdTe/CdS/ZnO multi-junction thin film solar cell." *Review of information engineering and applications* 3.1 (2016): 1-10.

٧- عدنان علوان محمد, "محاكاة تأثير طبقة  $Ga_2O_3$  على أداء الخلايا الشمسية CdTe

الرقيقة", رسالة ماجستير مقدمة الى كلية التربية للعلوم الصرفة/جامعة تكريت, (٢٠١٨).

8-Teyou Ngoupo, A., S. Ouédraogo, F. Zougmore, and J. M. B. Ndjaka. "New architecture towards ultrathin CdTe solar cells for high conversion efficiency." *International Journal of Photoenergy* 2015 (2015).

9-Dey, Mrinmoy, Maitry Dey, M. A. Matin, and Nowshad Amin. "Design of high efficient and stable ultra-thin CdTe solar cells with ZnTe as a potential BSF." In *2015 3rd International Conference on Green Energy and Technology (ICGET)*, pp. 1-4. IEEE, 2015.

10- Shukla, V., & Panda, G. (2020). The performance study of CdTe/CdS/SnO<sub>2</sub> solar cell. *Materials Today: Proceedings*, 26, 487-491.

11- Rafee Mahbub, Md, et al. "Simulation of CZTS thin film solar cell for different buffer layers for high efficiency performance." *ENGINEERING AND TECHNOLOGY* 2.52 (2016):1-10.

١٢- رشا فيصل حسن, "محاكاة تأثير الطبقة العازلة  $Zn_2SnO_4$  على أداء الخلية

الشمسية CdTe/CdS/SnO<sub>2</sub> باستخدام البرنامج SCAPS-1D", رسالة ماجستير مقدمة الى

جامعة الموصل/ كلية التربية للعلوم الصرفة, (٢٠٢٠).

13- **Matin**, M. A., Tomal, M. U., & Robin, A. M. (2013, May). Copper telluride as a novel BSF material for high performance ultra-thin CdTe PV



cell. In 2013 *International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)* (pp. 1-5). IEEE.

14- Islam, A., Matin, M. A., Aliyu, M. M., Sulaiman, Y., & Amin, N. (2009, December). A numerical analysis on CdS: O window layer for higher efficiency cdte solar cells. In 2009 *1st International Conference on the Developements in Renewable Energy Technology (ICDRET)* (pp. 1-4). IEEE.

15- Matin, M. A., Tomal, M. U., & Robin, A. M. (2013, May). Copper telluride as a nobel BSF material for high performance ultra-thin CdTe PV cell. In 2013 *International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)* (pp. 1-5). IEEE.