

دراسة تأثير تغيير عدة طبقات على أداء الخلية الشمسية البيروفسكايت ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) ودراسة تأثير إضافة الطبقة العاكسة الى الخلية الشمسية باستخدام برنامج المحاكاة (SCAPS 1-D)

رداد سالم محمود  
قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة/ جامعة الموصل  
رعد أحمد رسول

المخلص

يضم هذا البحث اختبار عدة مواد مختلفة لكل طبقة من طبقات الخلية الشمسية البيروفسكايت ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) ذات الخمس طبقات واختيار المادة الافضل لكل طبقة من طبقات الخلية من اجل الحصول على أعلى كفاءة للخلية الشمسية البيروفسكايت وكذلك تم دراسة تأثير كل من سمك طبقة الامتصاص وطبقة الانعكاس الخلفية على عمل الخلية الشمسية. باستخدام برنامج المحاكاة الحاسوبي (SCAPS1-D)، حيث اعتمدت مادة البيروفسكايت ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) كطبقة امتصاص في الخلية الشمسية وبسمك ( $1\mu\text{m}$ ) وكذلك تم اختيار اوكسيد التيتانيوم ( $\text{TiO}_2$ ) من بين عدة مواد مختلفة كطبقة نافذة وبسمك ( $0.05\mu\text{m}$ ) وتم اختيار اوكسيد القصدير المطعم بالفلور (FTO) من بين عدد من المواد المختلفة كطبقة اوكسيد التوصيل الشفافة وبسمك ( $0.1\mu\text{m}$ ) وكذلك تم اختيار الطبقة الخازنة اوكسيد الزنك (ZnO) وبسمك ( $0.05\mu\text{m}$ ) وبعد دراسة كل طبقة من طبقات الخلية واختيار الأفضل بينها اصبحت الخلية الشمسية بالشكل  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}$  وكانت مخرجات الخلية الشمسية بالشكل التالي:  $[V_{oc}=1.263(\text{V}), J_{sc}=24.01 \text{ mA/cm}^2, FF=89.017\%, \eta=26.94 \%$

واخيرا تم اختيار طبقة الانعكاس الخلفية وهي تيلوريد الزنك (ZnTe) وبسمك ( $0.05\mu\text{m}$ ). اصبحت الخلية الشمسية بالشكل  $\text{ZnTe}/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  وكانت مخرجات الخلية الشمسية البيروفسكايت ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) النهائية بالشكل التالي:  $[V_{oc}=1.288(\text{V}), J_{sc}=25.04\text{mA/cm}^2, FF=89.54\%, \eta=28.88\%$

الكلمات الدالة: SCAPS 1-D، خلية شمسية، بيروفسكايت.

p-ISSN: 1608-9391

e-ISSN: 2664-2786

Article information

Received: 8/8/2022

Accepted: 15/10/2022

DOI:

10.33899/rjs.2022.176077

corresponding author:

رداد سالم محمود

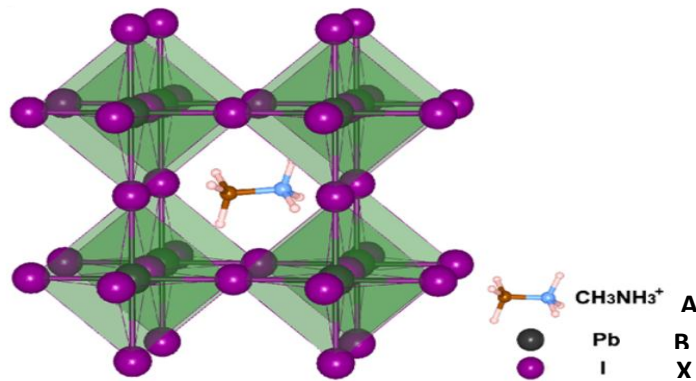
[raddad.20esp33@student.uomosul.edu.iq](mailto:raddad.20esp33@student.uomosul.edu.iq)

### المقدمة

تعد الخلية الشمسية من الاختراعات المهمة وذات فائدة كبيرة التي ظهرت في الفترة الاخيرة حيث تمكن الانسان من خلالها توفير جزء كبير من متطلباته واستخداماته اليومية للطاقة الكهربائية. والخلية الشمسية عبارة عن جهاز كهروضوئي يتركب من مادة شبه موصلة تقوم بتحويل الضوء القادم من الشمس الى تيار كهربائي مستمر يمكن استعماله والاستفادة منه (Ramprasad,2012).

تعد الخلايا الشمسية القائمة على البيروفسكايت منافس قوي لباقي الخلايا الشمسية الأخرى لما تملكه هذه الخلايا من استقرار وكفاءة عالية ويمكن اعتبارها بأنها منافس قوي للسيليكون متعدد البلورات والذي ما زال مهيمن على سوق الطاقة الكهروضوئية المتواجدة في الاسواق.

الصيغة العامة لتركيب البيروفسكايت هي  $ABX_3$  حيث ان (A,B) يمثلان ايونين موجبين بحيث يكون الايون (A) أكبر من الايون (B) ام الايون (X) هو ايون سالب ويربط بين الاكاسيد والهاليدات والشكل (1-1) يبين التركيب البلوري للبيروفسكايت (Eames et al.,2015).



الشكل 1-1: التركيب البلوري للبيروفسكايت

يتميز البيروفسكايت بثابت عزل كبير وكذلك له عمر طويل وكفاءة عالية لامتناسص الشعاع الضوئي القادم من الشمس تكون طبقة الامتناسص في الخلية من البيروفسكايت ( $CH_3NH_3PbI_3$ ) وتكون من المواد الهجين العضوي واللاعضوي من هاليد القصدير او الرصاص ومن خصائص البيروفسكايت ان لها فجوة طاقة يمكن التحكم بها بواسطة الهاليد وقد تبين خلال الابحاث الحديثة ان شحنات مركبات البيروفسكايت تتواجد بشكل الكترولونات حرة وفجوات لان طاقة ارتباطها منخفضة بما يكفي لفصل الشحنات عند درجة حرارة الغرفة (D'Innocenzo et al., 2014).

في الخلايا الشمسية البيروفسكايت تقع طبقة البيروفسكايت الماصة بين طبقتين احدهما تعمل على توصيل الالكترولونات (ETM) والأخرى تكون ناقلة للفجوات (HTM) ويتم توصيلها بطبقة شفافة لكي تسمح بمرور الضوء من خلالها. تعد خلية البيروفسكايت صديقة للبيئة وتمتاز ايضا في كفاءتها العالية قياسا الى باقي الخلايا الشمسية الأخرى (Xiao et al.,2014). في هذا البحث تم اختبار عدة مواد مختلفة لكل طبقة من طبقات الخلية الشمسية وتم دراسة تأثير كل طبقة على كفاءة عمل الخلية عن طريق المحاكاة العددية باستخدام برنامج المحاكاة الحاسوبي (SCAPS 1-D).

كذلك تم دراسة تأثير طبقة الانعكاس الخلفية ودورها في زيادة كفاءة الخلية الشمسية من خلال تعزيز الناقلات من خلال عكسها نحو الوصلة الرئيسية ودورها في تقليل سمك الطبقة الماصة البيروفسكايت وبالتالي تقلل من كلفة انتاج الخلية الشمسية فكلما قل سمك طبقة الامتناسص البيروفسكايت قلت الكلفة الانتاجية للخلية الشمسية مع المحافظة على كفاءتها العالية.

### المواد وطرائق العمل

تم الاعتماد في هذا البحث على برنامج (SCAPS 1-D) في محاكاة الخلية الشمسية البيروفسكايت وهو برنامج محاكاة حاسوبي يستخدم لمحاكاة الخلية الشمسية احادي البعد صمم في قسم الالكترونيات ونظم المعلومات جامعه (Gent) في بلجيكا. يمكن من خلال البرنامج الحصول على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية والتي تتكون من سبع طبقات كأقصى حد للخلية ومعرفة معلمات الخلية ومنها السمك والتطعيم والعيوب ومعرفة تأثيرها على عمل الخلية والحصول على خصائص التيار-فولتية (I-V) كذلك خصائص (C-F) والكفاءة الكمية (QE) وخصائص (C-V) كذلك يمكن للباحث اختيار نوع الطيف الشمسي (عدة أطيف أو طيف أحادي) وخن وكذلك تحميل كل إعدادات الخلية ويمكن من خلال البرنامج (SCAPS 1-D) رسم المنحنيات مثل منحنى (I-V) و (QE) (Koen et al.,2011).

كذلك يمكن لبرنامج (SCAPS 1-D) حل المعادلات كمعادلة بوايسون والاستمرارية في أشباه الموصلات ومعادلات نقل الحاملات كذلك معادلات كثافة التيار الانجراف والانتشار ويمكن تبيان هذه المعادلات على النحو التالي:  
اولا- معادلة بوايسون:

التي تربط العلاقة بين جهد الالكترونات ( $\Phi$ ) وكثافته الشحنات والتي تعتبر البداية للحل النوعي في الكهربائية الساكنة للمتغيرات في شبه الموصل باستخدام معادلات ماكسويل ( $D=p\Delta$ ) و ( $D=\epsilon E$ ) في الكهربائية الساكنة (Chetan,2013).

$$\frac{d \ln(E(x))}{dx} \cdot \frac{d\Phi(x)}{dx} + \frac{d^2\Phi}{dx^2} = \frac{f(x)}{\epsilon(X)} \quad \dots \dots \dots 1$$

ومن ملاحظة المعادلة رقم (1) عندما  $\epsilon$  تكون ثابتة فان معادلة بوايسون تصبح بالشكل

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

### ثانيا- تيار الدائرة القصيرة

التيار الذي يمر خلال الخلية عندما تكون فولتية الدائرة المفتوحة تساوي صفر. وهو اقصى تيار تعطيه الخلية الشمسية (Chetan,2013).

ويعطى بالعلاقة التالية

$$I = I_0 \left( \exp \frac{qv}{kT} - 1 \right) \quad \dots \dots \dots 3$$

حيث

-I يمثل تيار دائرة الحمل

-  $I_0$  - يمثل تيار التشبع العكسي

-T تمثل درجة الحرارة

- k - يمثل ثابت بولتزمان

### ثالثا - فولتية الدائرة المفتوحة ( $V_{oc}$ ):

العلاقة التي يمكن من خلالها حساب فولتية الدائرة المفتوحة هي:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \quad \dots \dots \dots 4$$

رابعاً - معادلتى الانجراف والانتشار:

$$J_n = q\mu_n n \mathcal{E} + qDn \frac{dn}{dx} = q\mu_n \left( n\mathcal{E} + \frac{KT}{q} \frac{dn}{dx} \right) = n \frac{dEF_n}{dx} \dots\dots\dots 5$$

$$J_p = q\mu_p P \mathcal{E} + qDp \frac{dp}{dx} = q\mu_p \left( P\mathcal{E} + \frac{KT}{q} \frac{dp}{dx} \right) = \mu_p P \frac{dEF_p}{dx} \dots\dots\dots 6$$

حيث انه

$\mathcal{E}$  - تمثل المجال الكهربائي

$\mu_n$  - يمثل حركية الالكترونات،  $\mu_p$  - يمثل حركية الفجوات

$J_n$  - يمثل كثافة التيار نسبة الى الالكترونات،  $J_p$  - يمثل كثافة التيار نسبة الى الفجوات

$Dn$  - معامل الانتشار نسبة الى الالكترونات،  $Dp$  - معامل الانتشار نسبة الى الفجوات

خامساً - معادلة الاستمرارية نسبة الى الالكترونات تعطى بالعلاقة التالية

$$\frac{\partial n(x)}{\partial t} = G_n(x) - R_n(x) \dots\dots\dots 7$$

$G_n(x)$  - تمثل عملية تولد الالكترونات

$R_n(x)$  - تمثل إعادة التركيب

وكذلك فان معادلة الاستمرارية للفجوات تعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{\partial p(x)}{\partial t} = G_p(x) - R_p(x) \dots\dots\dots 8$$

$G_p(x)$  - تمثل عملية تولد الفجوات  $R_p(x)$  - تمثل إعادة التركيب

سادساً - عامل المليء

يرمز له بالرمز FF هو النسبة بين أقصى قدرة الى أقصى كثافة تيار وفولتية يمكن ان تتولد في الخلية

(Burgleman et al., 2014). كما يمكن حساب عامل المليء بالعلاقة التالية:

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

حيث يمثل كل من  $I_{sc}$  تيار الدائرة القصيرة و  $V_{oc}$  فولتية الدائرة المفتوحة و  $V_m$   $I_m$  اقصى كثافة تيار وجهد متولد

سابعاً - كفاءة الخلية الشمسية:

هي النسبة بين أعظم قدرة متولدة في الخلية الشمسية والقدرة الساقطة عليها

يمكن حساب كفاءة الخلية بالعلاقة التالية

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

أيضا يمكن كتابة معادلة الكفاءة على النحو التالي

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

ثامناً - تركيب الخلية الشمسية واختيار طبقاتها: بعد تثبيت البيروفسكايت ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) كطبقة امتصاص للخلية الشمسية تم

اختيار كل طبقة من طبقات الخلية الشمسية على حدا من اجل الحصول على أقصى كفاءة للخلية الشمسية بالشكل التالي:

## 1. اختيار الطبقة النافذة:

في هذا البحث تم استخدام عدة مواد مختلفة كطبقة نافذة وكان منها كبريتيد الكاديوم (CdS) و كبريتيد الزنك والكاديوم (CdZnS) وتيلوريد الزنك (ZnTe) وكبريتيد الكاديوم المؤكسج (CdS;O) وأوكسيد التيتانيوم (TiO<sub>2</sub>) وأوكسيد الكاديوم (CdO) ذات المعلمات المبينة في (الجدول 1و2) والتي تم الحصول عليها من البحوث المنشورة.

الجدول 1: معلمات الطبقات النافذة والطبقة الماصة

Parameters	CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3</sub>	n-CdS	n-CdZnS	n-ZnTe	n-CdS:O	n-TiO <sub>2</sub>	n-CdO
Thickness (μm)	3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Band gap (ev)	1.55	2.42	2.58	2.2	2.8	3.26	2.28
Electron affinity (ev)	3.9	4.5	4.5	3.73	4.5	4.2	4.5
Dielectric permittivity (relative)	6.5	9	9.3	10.3	10	10	5.3
CB. effective density of states (1/cm <sup>3</sup> )	2.2E+18	2.2E+18	1.8E+19	1.2+18	2.2E+18	2.2E+18	2.2E+18
V.B. effective density of states (1/cm <sup>3</sup> )	1.8E+19	1.8E+19	2.4E+18	1.2E+19	1.8E+19	1.8E+19	1.8E+19
Electron thermal velocity (cm/s)	1.00E+7	1.0E+7	1.0E+7	1.0E+7	1.0E+7	1.0E+7	1.0E+17
Hole thermal velocity (cm/s)	1.00E+7	1.0E+7	1.0E+7	1.0E+7	1.0E+7	1.0E+7	1.0E+17
Electron Mobility (cm <sup>2</sup> /Vs)	2	350	85	330	100	100	146
Hole Mobility (cm <sup>2</sup> /Vs)	2	50	30	80	25	25	39.5
Shallow uniform donor density, N <sub>D</sub> (1/cm <sup>3</sup> )	0	1.0E+17	1.0E+17	1.0E+17	1.0E+17	1.0E+17	1.0E+17
Shallow uniform acceptor density N <sub>A</sub> (1/cm <sup>3</sup> )	1.00E15	0	0	0	0	0	0
Defect type	Single Donor	Single Donor	Single Donor	Single Donor	Single Donor	Single Donor	Single Donor
Capture Cross Section Electrons (cm <sup>2</sup> )	1.00E-17	1.0E-17	1.0E-17	1.0E-17	1.0E-17	1.0E-17	1.0E-17
Capture Cross Section Hole (cm <sup>2</sup> )	1.00E-12	1.0E-12	1.0E-12	1.0E-12	1.0E-15	1.0E-15	1.0E-15
Nt (1/cm <sup>2</sup> )	1.00E+12	1.0E+18	1.0E+18	1.0E+18	1.0E+18	1.0E+18	1.0E+18

Kaliappan *et al.*, 2014; Mohammad *et al.*, 2015; Pandey *et al.*, 2016; Shoewu *et al.*, 2016; Ngoupo *et al.*, 2019

الجدول 2: معلمات السطح البيئي لمحاكاة الخلايا الشمسية

Parameters	n-CdS/p-MAPbI <sub>3</sub>	n-CdZnS/p-MAPbI <sub>3</sub>	n-ZnTe/p-MAPbI <sub>3</sub>	n-CdS:O/p-MAPbI <sub>3</sub>	n-TiO <sub>2</sub> /p-MAPbI <sub>3</sub>	n-CdO/p-MAPbI <sub>3</sub>
Defect type	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral
Capture Cross Section Electrons (cm <sup>2</sup> )	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>
Capture Cross Section Hole (cm <sup>2</sup> )	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>	1 × 10 <sup>-12</sup>
Nt (1/cm <sup>2</sup> )	1 × 10 <sup>+13</sup>	1 × 10 <sup>+13</sup>	1 × 10 <sup>+13</sup>	1 × 10 <sup>+13</sup>	1 × 10 <sup>+13</sup>	1 × 10 <sup>+13</sup>

Kaliappan *et al.*, 2014; Mohammad *et al.*, 2015; Pandey *et al.*, 2016; Shoewu *et al.*, 2016; Ngoupo *et al.*, 2019

## 2. اختيار طبقة التوصيل الشفافة (TCO):

لإضافة طبقة أكسيد التوصيل الشفافة (TCO) تم اختبار أكسيد القصدير المطعم بالفلور (FTO) وأوكسيد الزنك المشبع بالالمنيوم (ZnO:Al) واستانات الزنك (ZTO)، وأوكسيد الفانديوم الخماسي ( $V_2O_5$ ) وأوكسيد الزنك (ZnO) وحسب المعلمات المذكورة في (الجدول 3). تم تثبيت الخلية ( $P-CH_3NH_3PbI_3/n-TiO_2$ ) عند السُمك ( $0.5\mu m$ ,  $3$ ) على التوالي، تم تغيير طبقات أكسيد التوصيل الشفافة (TCO) التي تم اختبارها في هذا البحث وعند سُمك ( $0.1\mu m$ ).

## الجدول 3: المعلمات الأساسية لطبقات أكاسيد التوصيل الشفافة (TCO)

Parameters	n-ZnO	n-ZnO:Al	n-ZTO	n-FTO	n- $V_2O_5$
Thickness ( $\mu m$ )	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Band gap (eV)	3.3	3.3	3.35	4.2	2.3
Electron affinity (eV)	4.4	4.6	4.5	4.5	3.99
Dielectric permittivity (relative)	9	7.8	9	10	4.28
CB. effective density of states ( $1/cm^3$ )	2.200E+18	2.200E+18	2.100+18	1.200+20	2.200E+18
V.B. effective density of states ( $1/cm^3$ )	1.800E+19	1.800E+19	1.500E+19	7.000E+20	1.800E+19
Electron thermal velocity (cm/s)	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7
Hole thermal velocity (cm/s)	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7	1.000E+7
Electron Mobility ( $cm^2/Vs$ )	100	100	52	20	1.26
Hole Mobility ( $cm^2/Vs$ )	25	30	3	100	34.5
Shallow uniform donor density, $N_D$ ( $1/cm^3$ )	1.000E+19	1.000E+19	1.000E+19	1.000E+19	1.000E+19
Shallow uniform acceptor density $N_A$ ( $1/cm^3$ )	0	0	0	0	0
Defect type	Single Donor	Single Donor	Single Donor	Single Donor	Single Donor
Capture Cross Section Electrons ( $cm^2$ )	1.00E-15	1.00E-15	1.00E-15	1.00E-15	1.00E-15
Capture Cross Section Hole ( $cm^2$ )	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12	1.00E-12
$N_t$ ( $1/cm^2$ )	1.00E+15	1.00E+15	1.00E+15	1.00E+15	1.00E+15

Shoewu *et al.*, 2016; Anwar *et al.*, 2017; Shachi and Bahar, 2017

## 3. اختيار الطبقة الخازنة (BL):

تم إضافة طبقة خازنة (BL) إلى الخلية الشمسية ( $P-CH_3NH_3PbI_3/n-TiO_2/n-FTO$ ) بين طبقة التوصيل (FTO) والطبقة النافذة ( $TiO_2$ )، وقد تم اختبار الطبقات التالية كطبقة (BL) ستانيت الزنك ( $Zn_2SnO_4$ ) وأوكسيد الزنك (ZnO) وستانات الزنك (ZTO) وكبريتيد الزنك (ZnS) وثنائي أكسيد القصدير ( $SnO_2$ ) في هذا البحث، تم تثبيت سُمك طبقات الخازنة (BL) عند ( $0.05\mu m$ ) وتقليل سمك طبقة النافذة إلى ( $0.05\mu m$ ) وحسب المعلمات المبينة في (الجدول 4).

تم تقليل سمك الطبقة النافذة الى (0.05µm) وتثبيت الخلية الشمسية المكونة من ثلاث طبقات n-  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  /  $\text{TiO}_2$  / n-FTO عند السمك (3 , 0.05, 0.1 µm) على التوالي، وإضافة الطبقات الخازنة (BL) بسمك (0.05µm) بين طبقتي النافذة ( $\text{TiO}_2$ ) وأوكسيد التوصيل الشفاف (FTO).

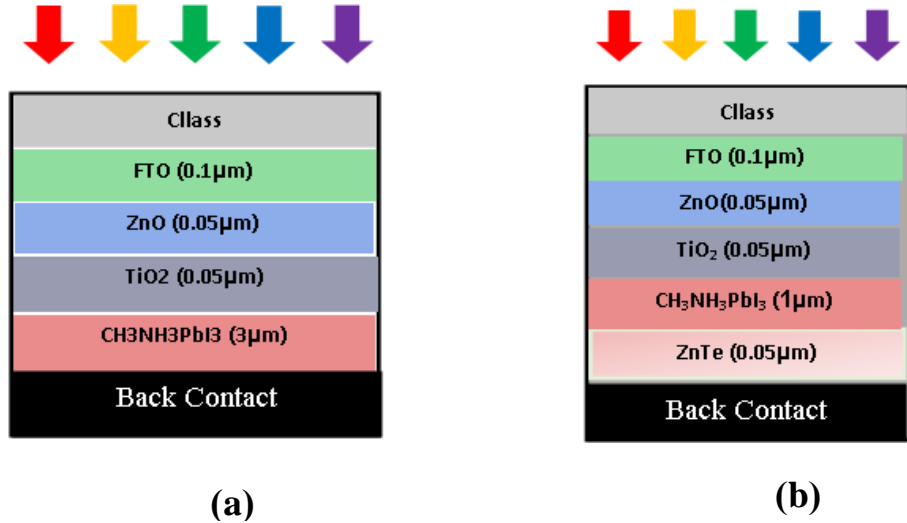
الجدول 4: المعلمات الأساسية للطبقات الخازنة (BL)

Parameters	n-Zn <sub>2</sub> SnO <sub>4</sub>	n-ZnO	n-ZTO	n-ZnS	n-SnO <sub>2</sub>
Thickness (µm)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Band gap (ev)	3.35	3.0	3.35	3.5	3.6
Electron affinity (eV)	4.5	4.35	4.5	4.5	4.5
Dielectric permittivity (relative)	9	9	9	10	9
CB. effective density of states (1/cm <sup>3</sup> )	2.0E+18	2.20E+18	2.10E+18	1.80E+18	2.20E+18
V.B. effective density of states (1/cm <sup>3</sup> )	1.50E+19	1.80E+19	1.50E+19	1.80E+19	1.80E+19
Electron thermal velocity (cm/s)	1.0E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7
Hole thermal velocity (cm/s)	1.0E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7
Electron Mobility (cm <sup>2</sup> /Vs)	32	100	52	100	100
Hole Mobility (cm <sup>2</sup> /Vs)	3	25	3	25	25
Shallow uniform donor density, N <sub>D</sub> (1/cm <sup>3</sup> )	1.00E+19	1.00E+19	1.00E+19	1.00E+19	1.00E+19
Shallow uniform acceptor density N <sub>A</sub> (1/cm <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0
Defect type	Single Donor	Single Donor	Single Donor	Single Donor	Single Donor
Capture Cross Section Electrons (cm <sup>2</sup> )	1.0E-15	1.0E-15	1.0E-15	1.0E-15	1.0E-15
Capture Cross Section Hole (cm <sup>2</sup> )	1.0E-12	1.0E-12	1.0E-12	1.0E-12	1.0E-12
Nt (1/cm <sup>2</sup> )	1.0E+15	1.0E+15	1.0E+15	1.0E+15	1.0E+15

Matin *et al.*, 2010; Hossain *et al.*, 2011; Ngoupo *et al.*, 2015; Mahbub *et al.*, 2017; Rassol *et al.*, 2021

#### 4. اختيار طبقة الانعكاس الخلفية (BSF):

بعد ان تم الحصول على الخلية الشمسية المكونة من أربع طبقات ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}$ ) ويسمك ( 0.1 µm , 0.05 , 0.05 , 3) على التوالي كما في الشكل (2a)، تم إضافة طبقة الانعكاس الخلفية (BSF) لزيادة كفاءة الخلية الشمسية، هذه الطبقة تكون من نوع P-type وتقع بين طبقة الاتصال الخلفية المعدنية وطبقة الامتصاص ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) والطبقات التي تم اختبارها في هذا البحث كطبقة انعكاس خلفية (BSF) هي تيلوريد ألزرنينج ( $\text{AS}_2\text{Te}_3$ ) وتيلوريد الزنك ( $\text{ZnTe}$ ) وكبريتيد القصدير ( $\text{SnS}$ ) وتيلوريد النحاس ( $\text{CU}_2\text{Te}$ ) والسليكون ( $\text{Si}$ ) وسلينيد الموليبدنوم ( $\text{MoSe}_2$ ) وحسب المعلمات المبينة في (الجدول 5) تم إضافة طبقات الانعكاس الخلفية (BSF) التي تم اختبارها في هذا البحث ويسمك (0.05µm).



الشكل 2: طبقات الخلية الشمسية البيروفسكايت

الجدول 5: المعلمات الأساسية لطبقات الإنعكاس الخلفية (BSF)

Parameters	P-AS <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	P-MoSe <sub>2</sub>	p-ZnTe	P-CU <sub>2</sub> Te	P-Si	P-SnS
Thickness (μm)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Band gap (eV)	0.60	1.06	2.25	1.18	1.12	1.25
Electron affinity (eV)	4.0	4.37	3.65	4.20	4.05	4.20
Dielectric permittivity (relative)	20	13.6	14	10	11.9	10
CB. effective density of states (1/cm <sup>3</sup> )	1.00E+16	2.20E+18	7.50E+17	7.80E+17	2.80E+19	2.20E+18
V.B. effective density of states (1/cm <sup>3</sup> )	1.00E+17	1.80E+19	1.50E+19	1.60E+19	2.650E+19	1.80E+19
Electron thermal velocity (cm/s)	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7
Hole thermal velocity (cm/s)	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7	1.00E+7
Electron Mobility (cm <sup>2</sup> /Vs)	500	100	70	500	1450	100
Hole Mobility (cm <sup>2</sup> /Vs)	2100	25	50	100	600	25
Shallow uniform donor density, N <sub>D</sub> (1/cm <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0
Shallow uniform acceptor density N <sub>A</sub> (1/cm <sup>3</sup> )	1.0E+19	1.0E+19	1.0E+19	1.0E+19	1.0E+19	1.0E+19
Defect type	Single Acceptor	Single Acceptor	Single Acceptor	Single Acceptor	Single Acceptor	Single Acceptor
Capture Cross Section Electrons (cm <sup>2</sup> )	1.0E-12	1.0E-12	1.0E-12	1.0E-12	1.0E-12	1.0E-12
Capture Cross Section Hole (cm <sup>2</sup> )	1.0E-15	1.0E-15	1.0E-15	1.0E-15	1.0E-15	1.0E-15
Nt (1/cm <sup>2</sup> )	1.0E+14	1.0E+14	1.0E+14	1.0E+14	1.0E+14	1.0E+14

Islam *et al.*, 2011; Matin *et al.*, 2013; Matin and Dey,2014; Rassol *et al.*, 2021



بعد إضافة طبقة الانعكاس الخلفي والحصول على الخلية النهائية تم اختبار سمك طبقة الامتصاص من (0.5-5  $\mu\text{m}$ ) وزيادة مقارها (0.5 $\mu\text{m}$ ) من أجل الحصول على أفضل سمك لطبقة الامتصاص بحيث تعمل الخلية الشمسية بأقصى كفاءة. كما تم دراسة تأثير تغيير سمك طبقة الانعكاس الخلفي (BSF) على معطيات الخلية الشمسية.

### النتائج والمناقشة

بعد تثبيت البيروفسكايت ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) كطبقة امتصاص للخلية الشمسية واختيار كل طبقة من طبقات الخلية الشمسية على حدا من أجل الحصول على أقصى كفاءة للخلية الشمسية كانت النتائج التي تم الحصول عليها كما يلي:

#### اولاً. نتائج اختيار الطبقة النافذة:

بعد ان تم تركيب الخلية الشمسية بتثبيت الطبقة الماصة البيروفسكايت و بسمك (3 $\mu\text{m}$ ) بينما سمك الطبقة النافذة (0.5  $\mu\text{m}$ ) و اختبار عدة مواد للطبقة النافذة وكانت النتائج التي تم الحصول عليها كما في (الجدول 6).

الجدول 6: مخرجات الخلية الشمسية للطبقات النافذة مع طبقة الامتصاص البيروفسكايت

Layers	Voc (v)	Jsc ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	FF %	( $\eta$ ) %
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{Cds}$	0.64	18.69	80.72	9.79
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{CdZnS}$	0.596	2.267	79.88	9.66
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{CdS}:\text{O}$	0.65	22.18	80.91	11.71
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{ZnTe}$	1.18	10.15	85.34	16.37
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2$	<b>1.26</b>	<b>23.68</b>	<b>89.06</b>	<b>26.58</b>
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{CdO}$	0.65	16.97	81.64	9.05

من ملاحظة النتائج في (الجدول 6) تبين أن أقصى كفاءة تم الحصول عليها عند استخدام ( $\text{TiO}_2$ ) كطبقة نافذة من بين المواد المختارة في هذا البحث ذلك بسبب فجوة الطاقة الكبيرة لها بحيث تسمح لقدر اكبر من الفوتونات من النفاذ خلالها الى طبقة الامتصاص (Laurie *et al.*, 2016) وكان تأثير باقي المواد متقارب وكفاءة اقل من ( $\text{TiO}_2$ ) بشكل واضح والخلية ذات الكفاءة الأفضل أصبحت بالشكل ( $\text{P}-\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{n-TiO}_2$ ).

ثانياً. نتائج اختيار طبقة التوصيل الشفافة (TCO):

بعد ان تم اختبار عدة مواد لطبقة التوصيل الشفافة كانت النتائج التي تم الحصول عليها كما في (الجدول 7).

الجدول 7: نتائج اختلاف طبقات أكسيد التوصيل الشفافة حيث انه تم تثبيت السمك عند (0.1 $\mu\text{m}$ )

Layers	Voc (V)	Jsc ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	FF%	Eta( $\eta$ ) %
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}$	1.26	23.60	89.02	26.48
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}:\text{Al}$	1.26	23.59	81.51	24.29
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZTO}$	1.26	23.61	87.68	26.10
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{V}_2\text{O}_5$	1.25	21.22	89.07	23.76
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{FTO}$	<b>1.26</b>	<b>23.66</b>	<b>89.06</b>	<b>26.56</b>

من خلال النتائج الواردة في (الجدول 7) يمكن ملاحظة أن أفضل كفاءة تم الحصول عليها عند استخدام طبقة (FTO) كطبقة أكسيد التوصيل الشفافة (TCO) للخلية لما تملكه من شفافية عالية تسمح للفوتونات الساقطة المرور من خلالها الى طبقة الامتصاص (Naoyuki *et al.*, 2018) وكذلك كونها تملك فجوة طاقة أكبر من فجوة الطاقة لطبقات الخلية الشمسية الأخرى. وأصبحت الخلية ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{n-TiO}_2/\text{n-FTO}$ ) هي الخلية الأعلى كفاءة وكانت مخرجات الخلية كالتالي: ( $V_{oc}=1.264$  (V),  $J_{sc}=23.66$  mA/cm<sup>2</sup>,  $FF=89.06$  %,  $\eta=26.56$  %)

ثالثاً. نتائج اختيار الطبقة الخازنة (BL):

بعد ان تم اختبار عدة مواد للطبقة الخازنة كانت النتائج التي تم الحصول عليها كما في (الجدول 8).

الجدول 8: نتائج الخلايا باختلاف الطبقات الخازنة، حيث تم تثبيت سمك طبقة (BL) عند (0.05µm)

Layers	Voc (v)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	FF %	(η) %
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{Zn}_2\text{SnO}_4/\text{FTO}$	1.26	24.01	87.58	26.52
<b><math>\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}</math></b>	<b>1.26</b>	<b>24.01</b>	<b>89.01</b>	<b>26.94</b>
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2//\text{ZTO}/\text{FTO}$	1.26	24.01	87.58	26.52
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2//\text{ZnS}/\text{FTO}$	1.26	24.04	87.49	26.52
$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{SnO}_2/\text{FTO}$	1.263	24.05	87.58	26.46

يلاحظ من خلال النتائج المبينة في (الجدول 8) أن طبقة (ZnO) هي أفضل طبقة خازنة (BL) والخلية الشمسية ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}$ ) هي الأعلى كفاءةً وكان لها دور كبير في تقليل عملية إعادة الاتحاد السطحي (Green *et al.*, 2014) وكانت مخرجات الخلية كالتالي:

( $V_{oc}=1.26$  (V) ,  $J_{sc}=24.01$  mA/cm<sup>2</sup>,  $FF=89.01$  %,  $\eta=26.94$  %)

رابعاً. نتائج اختيار طبقة الانعكاس الخلفية (BSF):

بعد ان تم اختبار عدة مواد لطبقة الانعكاس الخلفية كانت النتائج التي تم الحصول عليها كما في (الجدول 9).

الجدول 9: نتائج الخلايا باختلاف طبقات (BSF) حيث تم تثبيت سمك طبقات (BSF) عند (0.5µm)

Layers	Voc (V)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	FF%	(η) %
$\text{Cu}_2\text{Te}/ \text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}$	1.26	24.01	89.01	26.94
$\text{Si}/ \text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}$	1.26	24.00	89.0	26.93
<b><math>\text{ZnTe}/ \text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}</math></b>	<b>1.26</b>	<b>24.66</b>	<b>89.23</b>	<b>27.92</b>
$\text{MOSe}_2/ \text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}$	1.26	24.01	89.01	26.94
$\text{AS}_2\text{Te}_3/ \text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}$	1.17	23.99	86.96	24.45
$\text{SnS}/ \text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3/\text{TiO}_2/\text{ZnO}/\text{FTO}$	1.26	24.01	89.0	26.95

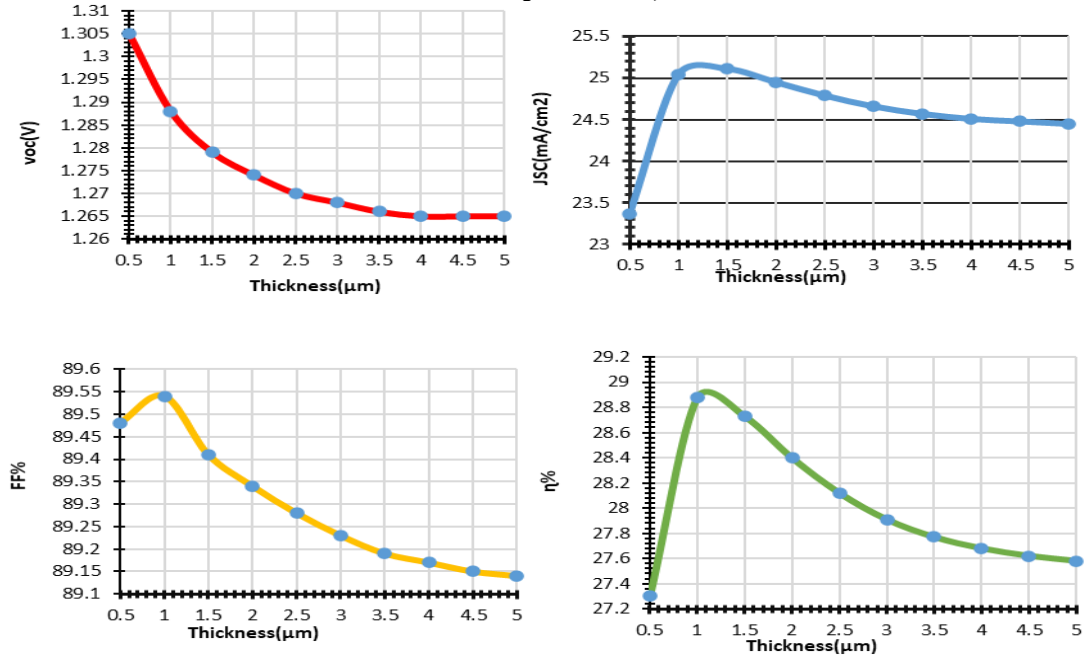
من النتائج المبينة في (الجدول 9) يلاحظ بأن طبقة (ZnTe) هي أفضل طبقة انعكاس خلفية (BSF) لما تملكه من فجوة طاقة واسعة (Amin *et al.*, 2007) والتي تعمل على تقليل إعادة الإتحاد في جهة الاتصال الخلفية كما ساهم إضافة طبقة (BSF) الى الخلية الشمسية على تقليل سُمك طبقة الامتصاص مع زيادة كفاءة الخلية الشمسية (Efficiency ( $\eta$ ) فكانت الخلية الشمسية (ZnTe / CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub> / TiO<sub>2</sub> / ZnO / FTO) هي الخلية الأعلى كفاءةً وأصبح شكل الخلية كما في الشكل (2b) وكانت مخرجات الخلية كالتالي:

$$(V_{oc}=1.26 \text{ (V)}, J_{sc}=24.66 \text{ mA/cm}^2, FF=89.23 \%, \eta=27.92 \%)$$

#### خامسا. تأثير طبقة الانعكاس الخلفية على سمك طبقة الامتصاص

بعد إضافة طبقة الانعكاس الخلفي والحصول على الخلية النهائية تم اختبار سمك طبقة الامتصاص من (0.5-5  $\mu\text{m}$ ) وبزيادة مقدارها (0.5 $\mu\text{m}$ ) من اجل الحصول على افضل سمك لطبقة الامتصاص بحيث تعمل الخلية الشمسية بأقصى كفاءة وكانت افضل كفاءة للخلية عندما كان سمك الطبقة الماصة بمقدار (1 $\mu\text{m}$ ) كما في الشكل (3) مما ساهم في تقليل سمك طبقة الامتصاص في الخلية الشمسية وبالتالي تقليل كلفتها الانتاجية ويعود ذلك لكون طبقة الانعكاس الخلفية (BSF) تعمل على تقليل إعادة الإتحاد في جهة الاتصال الخلفية كما تعزز الناقلات من خلال عكسها نحو الوصلة الرئيسية وهذا يساهم في زيادة الكفاءة بشكل كبير (Amin *et al.*, 2007) وكانت معطيات الخلية الشمسية كما يلي:

$$(V_{oc}=1.288 \text{ (V)}, J_{sc}=25.04 \text{ mA/cm}^2, FF=89.54 \%, \eta=28.88 \%)$$

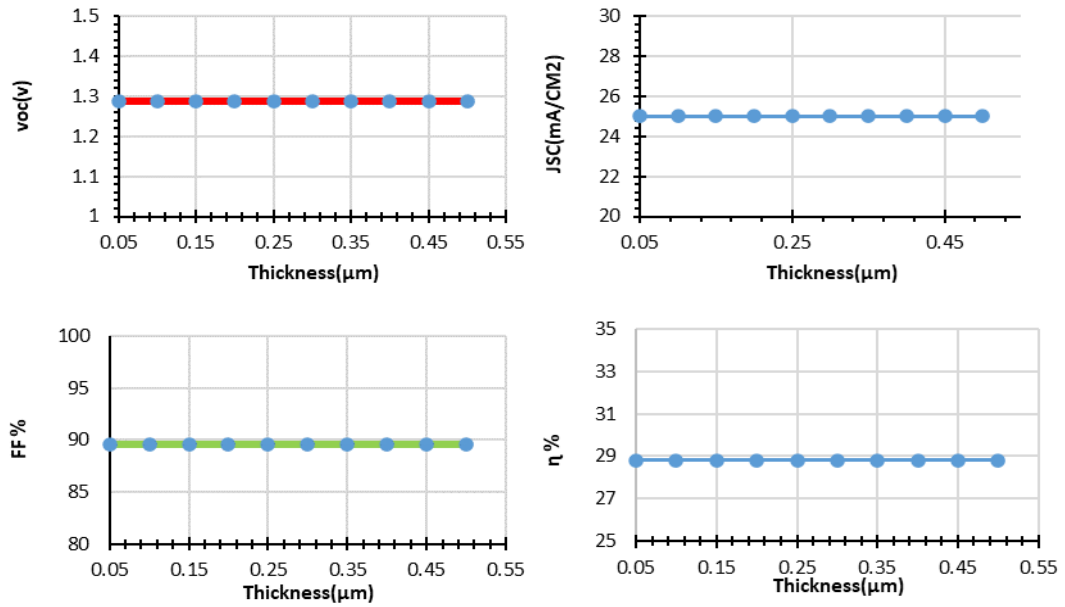


الشكل 3: تأثير تغيير سمك الطبقة الماصة على مخرجات الخلية الشمسية بعد إضافة (BSF).

#### سادسا. دراسة تأثير تغيير سمك طبقة الانعكاس الخلفي (BSF) على معطيات الخلية الشمسية:

بعد ان تم دراسة تغيير سمك طبقة الانعكاس الخلفي (0.05-0.5 $\mu\text{m}$ ) وبزيادة مقدارها (0.05 $\mu\text{m}$ ) وتثبيت سمك طبقة الامتصاص عند (1 $\mu\text{m}$ ) تبين انه لم يؤثر تغيير سمك طبقة الانعكاس الخلفية على كفاءة الخلية وبقيت مخرجات الخلية الشمسية ثابتة وكما في الشكل (4) حيث تم الحصول على المعطيات التالية:

$$(V_{oc}=1.288 \text{ (V)}, J_{sc}=25.04 \text{ mA/cm}^2, FF=89.54 \%, \eta=28.88 \%)$$



الشكل 4: تأثير تغيير سمك الطبقة العاكسة على مخرجات الخلية الشمسية.

#### الاستنتاجات

في هذه الدراسة وجد ان اختلاف مادة الطبقة النافذة له تأثير على كفاءة الخلية الشمسية البيروفسكايت حيث ان أفضل مادة كانت ( $TiO_2$ ) كما تبين ان اختلاف مادة طبقة اوكسيد التوصيل الشفافة له تأثير على كفاءة الخلية الشمسية البيروفسكايت حيث ان افضل مادة كانت ( $FTO$ ) وأيضاً أظهرت الدراسة ان اختلاف مادة الطبقة الخازنة له تأثير على كفاءة الخلية الشمسية البيروفسكايت حيث ان افضل مادة كانت ( $ZnO$ ) وكان للطبقة الخازنة تأثير على سمك الطبقة النافذة وتقليل سمك الطبقة النافذة. اختلاف مادة طبقة الانعكاس الخلفي له تأثير على كفاءة الخلية الشمسية البيروفسكايت حيث ان أفضل مادة كانت ( $ZnTe$ ). طبقة الانعكاس الخلفي لها تأثير على تقليل سمك طبقة الامتصاص البيروفسكايت ( $CH_3NH_3PbI_3$ ) الى ( $1\mu m$ ) مما ساهم في تقليل كلفة انتاج الخلية الشمسية وكانت النتائج النهائية للخلية الشمسية التي تم الحصول عليها في هذا البحث هي: ( $V_{oc}=1.288(V)$ ,  $J_{sc}=25.04\text{ mA/cm}^2$ ,  $FF=89.54\%$ ,  $\eta=28.88\%$ )

#### المصادر

- Amin, N.; Sopian, K.; Konagai, M. (2007). Numerical modeling of CdS / CdTe and CdS / CdTe /ZnTe solar cells as a function of CdTe thickness. *Solar Energy Mater. and Solar Cells*, **91**(13), 1202 – 1208. doi:10.1016/j.solmat. 2007.04.006
- Anwar, F.; Afrin, S.; Satter, S.S.; Mahbub, R.; Ullah, S.M. (2017). Simulation and performance study of nanowire CdS/CdTe solar cell. *International J. Renewable Energy Research*. 7.2: 885-893. DOI:10.20508/ijrer.v7i2.5688.g7068.
- Burgleman, M.; Decock, K.; Niemegeers, A.; Verschraegen, J.; Degrave, S. (2014). SCAPS manual, no May.
- Chetan, S.S. (2013). "Solar Photovoltaic Fundamentals, Technologies and Applications". 2<sup>nd</sup> ed., PHI Learning Private Limited, Delhi-110092.
- D'Innocenzo, V.; Grancini, G.; Alcocer, M.J.; Kandada, A.R.; Stranks, S.D.; Lee, M.M.; Lanzani, G.; Snaith, H.J.; Petrozza, A. (2014). Excitons versus free charges in organo-lead tri-halide perovskites. *Nature Communicat.*, **5**, 3586. doi.org/10.1038/ncomms4586
- Eames, C.; Frost, J.M.; Barnes, P.R.; O'Regan, B.C.; Walsh, A.; Islam, M.S. (2015). Ionic transport in hybrid lead iodide perovskite solar cells. *Nature Communicat.*, **6**, 7497.

doi.org/10.1038/ncomms8497

- Green, M.; Ho-Baillie, A.; Snaith, H. (2014). The emergence of perovskite solar cells. *Nature Photon.*, **8**(7), 506–514. Doi: 10.1038/NPHOTON.2014.134.
- Hossain, S.; Amin, N.; Aliyu, M.M.; Razykov, T.M.; Kamaruzzaman; Arabia, S. (2011). A numerical study on the prospects of high efficiency ultra-thin  $\text{ZnxCd}_{1-x}\text{S}/\text{CdTe}$  solar cell. *Chalcogen. Letters*, **8**, 263-272. Corpus ID: 111382649
- Islam, M.A.; Sulaiman, Y.; Amin, N. (2011). A Comparative study of BSF layers for ultra-thin  $\text{CdS:O}/\text{CdTe}$  solar cells. *Chalcogen. Letters*, **8**(2), 65 – 75.
- Kaliappan, Sh.; Palanivel, S.; Raman, S.; Ramraj, R.; Ramamurthi, K. (2014). Structural, optical and electrical properties of transparent conducting hydrophobic cadmium oxide thin films prepared by spray pyrolysis technique. *Superlatt. and Microstruct.*, **69**. 29-37, ISSN 0749-6036, Doi: 10.1016/j.spmi.2014.01.018.
- Koen, D.; Samira, Kh.; Marc, B. (2011). Modelling multivalent defects in thin film solar cells. *Thin Solid Films*, **519**(21), 7481-7484. doi.org/10.1016/j.tsf.2010.12.039
- Laurie, J.; Phillips, A.; Rashed, M.; Robert, E.; Treharne, J.K.; Peter, Y.; Ivona, Z.; Mitrovic, A.W.; Steve Hall; Ken Durose (2016). Maximizing the optical performance of planar  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  hybrid perovskite heterojunction stacks. *Solar Energy Mater. and Solar Cells*, **147**, 327-333. ISSN 0927-0248, doi.org/10.1016/j.solmat.2015.10.007.
- Mahbub, R.; Islam, M.S.; Anwar, F.; Satter, S.S.; Ullah, S.M. (2017). Simulation of CZTS thin film solar cell for different buffer layers for high efficiency performance. *Engineering and Technol.*, **2**(52), 1-10.
- Mahbub, R.; Islam, Md.S.; Anwar, F.; Satter, S.; Ullah, S.M. (2017). Simulation of CZTS thin film solar cell for different buffer layers for high efficiency performance. *South Asian J. Engineering and Technpl.*, **2**, 1-10.
- Matin, M.A.; Tomal, M.U.; Robin, A.M. (2013). Copper telluride as a Nobel BSF material for high performance ultra-thin CdTe PV cell. In 2013 *International Conference on Informatics, Electronics and Vision.*, 1-5. Doi:10.1109/ICIEV.2013.6572527.
- Matin, M.A.; Dey, M. (2014). High performance ultra-thin CdTe solar cell with Lead Telluride BSF. International Conference on Informatics. *Electronics and Vision (ICIEV)*, 1-5. DOI:10.1109/ICIEV.2014.6850826
- Matin, M.A.; Mannir, A.M.; Abrar, H.Q.; Nowshad, A. (2010). Prospects of novel front and back contacts for high efficiency cadmium telluride thin film solar cells from numerical analysis. *Solar Energy Materials and Solar Cells.*, **94**(9), 1496-1500, doi.org/10.1016/j.solmat.2010.02.042.
- Mohammad, I.H.; Fahhad, H.A.; Nouar, T. (2015). Copper oxide as inorganic hole transport material for lead halide perovskite based solar cells. *Solar Energy*, **120**, 370-380, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.040>.
- Naoyuki Shibayama, Shota Fukumoto, Hidetaka Sugita, Hiroyuki Kanda, Seigo Ito (2018). Influence of transparent conductive oxide layer on the inverted perovskite solar cell using PEDOT: PSS for hole transport layer. *Mater. Research Bullet.* **106**, 433-438, ISSN 0025-5408, doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.06.037.
- Ngoupo, A.; Ouedraogo, S.; François, Z.; Ndjaka, J. (2015). New architecture towards ultrathin CdTe solar cells for high conversion efficiency. *International J. Photoen.*, 1-9. doi.org/10.1155/2015/961812
- Ngoupo, A.; Teyou, S.; Ouédraogo; Ndjaka, J.M. (2019). Numerical analysis of interface properties effects in  $\text{CdTe}/\text{CdS:O}$  thin film solar cell by SCAPS-1D. *Indian J. Phys.*, **93**(7), 869-881. 10.1007/s12648-018-01360-z.
- Pandey, S.K.; Krishna, K. (2016). "Device Modeling, Optimization and Analysis of CdTe Solar

- Cell." 2016 IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics Engineering (UPCON). pp. 295-299. IEEE. DOI:10.1109/UPCON.2016.7894668
- Ramprasad Chandrasekharan. "Numerical Modeling of Tin-Based Absorber Devices for Cost-Effective Solar Photovoltaics." A Dissertation in Energy and Geo-Environmental Engineering, 2012.
- Rassol, R.A.; Hasan, R.F.; Ahmed, S.M. (2021). Numerical analysis of SnO<sub>2</sub>/Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>/n-CdS/p-CdTe solar cell using the SCAPS-1D simulation software. *Iraqi J. Sci.*, 505-516. DOI:10.24996/IJS.2021.62.2.17
- Shachi, S.I.; Bahar, A.N. (2017). Dataset representing the effect of indirect band gap region of Cd-free AlGaAs buffer layer in Cu (In, Ga) Se photovoltaic cell. *Data in brief*, **14**, 618–622. doi.org/10.1016/j.dib.2017.08.017
- Shoewu, E.; Oluwagbemiga; Anuforonini, G.; Duduyemi, O. (2016). Simulation of the performance of CdTe/CdS/ZnO multi-junction thin film solar cell. *Review of Informat. Engineer. and Applicat.*, **3**. 1-10. Doi:10.18488/journal.79/2016.3.1/79.1.1.10.
- Xiao, Z.; Bi, Ch.; Shao, Y.; Dong, Q.; Wang, Qi; Yuan, Y.; Wang, Ch.; Gao, Y.; Huang, J. (2014). Efficient, high yield perovskite photovoltaic devices grown by interdiffusion of solution-processed precursor stacking layers. *Energy Environ. Sci.*, **7**, 1-3. doi.org 10.1039/C4EE01138D.

## **Studying the Effect of Changing Several Layers on the Performance of the Perovskite Solar Cell (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>) and Studying the Effect of Adding the Back Surface Filed layer to the Solar Cell Using the Simulation Program (SCAPS 1-D)**

**Raddad S. Mahmoud**

**Raad A. Rasoul**

*Department of Physics/ College of Education for Pure Sciences/ University of Mosul*

### **ABSTRACT**

This research includes testing several different materials for each layer of the five-layer perovskite solar cell (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>) and choosing the best material for each layer of the cell in order to obtain the highest efficiency of the perovskite solar cell, as well as studying the effect of both the thickness of the absorption layer and the back surface field layer on the performance of the solar cell using the computer simulation program (SCAPS1-D), where the perovskite material (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>) was adopted as an absorption layer in the solar cell with a thickness of (1 μm), and titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) was selected from among several different materials as a window layer with a thickness of (0.05 μm), Fluorine-doped tin oxide (FTO) was selected from among a number of different materials as a transparent conductive oxide layer with a thickness of (0.1 μm), as well as a buffer layer of zinc oxide (ZnO) with a thickness of (0.05 μm) and after studying each cell layer and selecting the best one for each layer the structure of the four-layer solar cell became as follows:

(CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>/ZnO/FTO).

The outputs of the solar cell were as follows: [Voc=1.263(V), Jsc=24.01 mA/cm<sup>2</sup>, FF=89.017%, η=26.94%]. Finally, the back surface field layer was selected, which is zinc telluride (ZnTe) with a thickness of (0.05 μm). The structure of the five-layer solar cell became as follows: (ZnTe /CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>/ZnO/FTO)). The final output of the perovskite solar cell (CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub>) was as follows: [Voc=1.288(V), Jsc=25.04mA/cm<sup>2</sup>, FF=89.54%, η=28.88%].

**Keywords:** SCAPS 1-D, solar cell, perovskite.