International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
العدد Volume 33
المجلد Part 2
يناير January 2024
المجلة الدولية للعلوم والتقنية ISTJ
تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

تصميم خلية شمسية ذات الأغشية الرقيقة، صديقة للبيئة، ودراسة تأثير درجة الحرارة على خصائصها الكهربائية باستخدام برنامج محاكاة الخلايا الشمسية في بعد واحد

سعاد محمد أبوزريبة، هاجر علي اشكيربان
قسم الفيزياء ، جامعة مصراته ، مصراته ليبيا
suadabu@yahoo.com

الملخص:

بالرغم من النتائج الجيدة للخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من حيث توفر إمكانية تقليل التكاليف للتصنيع مقارنة بالخلايا الشمسية التقليدية القائمة على السليكون، تم ابراز العديد من العيوب المتعلقة بالمواد المستخدمة وبعض المواد نادرة وغير متوفرة وغالية الثمن مثل: الجاليوم والأنديوم والسلينيد، وبعض المواد سامة مثل الزرنيخ والكادميوم؛ لذلك هنالك حاجة لتحديد المواد ذات الأغشية الرقيقة التي تتكون من عناصر وفيرة وأقل سمية وذات كفاءة.

يعتبر فيلم نحاس قصدير الزنك كبريتيد(CZTS) من المواد الجيدة المستخدمة في الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة؛ لما له من مميزات تجعله مادة امتصاص مثالية، تستخدم لتكوين الطبقة الماصة كما أن مكوناته متوفرة مما يمكنه من أن يحل محل نحاس أنديوم جاليوم (CIGS) وكبريتيد الكادميوم (CdTe) ، لأنها تتكون من مواد سامة ومواد نادرة؛و بناء على ذلك فقد تم في هذا البحث تصميم خلية شمسية ذات الاغشية الرقيقة بمواد غير سامة، باستخدام برنامج محاكاة للخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة، صممت الخلية الشمسية من مركب نحاس قصدير كبريتيد الزنك (CZTS) كطبقة ماصة بسبب خصائصها الكهروضوئية الممتازة وموادها الوفيرة في الأرض والغير سامة، وثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2) كطبقة عازلة كبديل لكبريتيد الكادميوم لاحتوائه على عنصر الكادميوم السام، وأكسيد الزنك(Zno) كطبقة نافذة للحصول على الخصائص المميزة للخلية الشمسية المصممة المتمثلة في كفاءة الخلية

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 33 العدد
Part 2 المجلد
January 2024 يناير
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
ISTJ
تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

وعامل الملء(FF) وجهد الدائرة المفتوحة(V_{oc}) ، وكثافة تيار الدائرة القصيرة(J_{SC}) ، ودراسة تأثير درجة الحرارة على الخصائص المميزة للخلية الشمسية المصممة. وأظهرت الدراسة الوصول إلى تصميم خلية شمسية بكفاءة $\eta = 29.735\%$،وعامل الملئ $FF = 87.66\%$ ،وجهد الدائرة المفتوحة $V_{oc} = 1.0385v$، وكثافة تيار الدائرة القصيرة $J_{SC} = 32.712090mA/Cm^2$ ، إضافة لذلك فقد تمت دراسة تأثير درجة الحرارة على خصائص الخلية الشمسية، حيث تبين أن بزيادة درجة الحرارة تقل الكفاءة، وتزداد كثافة التيار للدائرة القصيرة، ويقل جهد الدائرة المفتوحة وعامل الملء.

الكلمات المفتاحية: خلية شمسية ذات أغشية رقيقة – نحاس قصدير كبريتيد الزنك CZTS – الكفاءة – عامل الملء – تيار الدائرة القصيرة – جهد الدائرة القصيرة – درجة الحرارة – برنامج المحاكاة في بعد واحد.

Design An Environmentally Friendly Thin-Film Solar Cell, and Study The Effect Of Temperature On Its Electrical Properties Using a One-Dimensional Solar Cell Simulation Program.

Suad Muhammad Abu Zariba, Hajar Ali Ashkirban

Misurata University
suadabu@yahoo.com

Abstract:

Despite the good results of thin-film solar cells in terms of providing the possibility of reducing manufacturing costs compared to traditional silicon-based solar cells, many disadvantages related to the materials used have been highlighted; some materials are rare, unavailable, and expensive, such as: gallium, indium, and selenide, and some materials are toxic, such as arsenic and cadmium; therefore, there is a need to identify thin-

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 33 العدد
Part 2 المجلد
January 2024 يناير
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
ISTJ
تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

film materials that consist of abundant, less toxic and efficient elements.
Copper zinc tin sulfide (CZTS) film is a good material for thin-film solar cells. Because it has characteristics that make it an ideal absorbent material, it is used to form the absorbent layer, and its components are available, which enables it to replace copper indium gallium (CIGS) and cadmium sulfide (CdTe); Because it consists of toxic substances and expensive materials; Accordingly, in this research, a thin-film solar cell was designed using non-toxic materials, using a simulation program for thin-film solar cells. The solar cell was designed from a copper zinc tin sulfide (CZTS) compound as an absorbent layer due to its excellent photoelectric properties and its abundant materials in the ground and non-toxic. Toxic, titanium dioxide (TiO_2) as an insulating layer as an alternative to cadmium sulfide because it contains the toxic element cadmium, and zinc oxide (ZnO) as a permeable layer, to obtain the distinctive characteristics of the designed solar cell represented by cell efficiency, fill factor (FF), open circuit voltage (V_{oc}), and short-circuit current density. (J_{SC}), and study the effect of temperature on the distinctive characteristics of the designed solar cell. The study showed that a solar cell design with efficiency η = 29.735%, fill factor FF = 87.66%, open circuit voltage V_{oc}= 1.0385 v, and short circuit current density J_{SC}= 32.712090 mA/Cm^2, in addition to that, the effect of temperature on the properties of The solar cell, as it was shown that with increasing temperature the efficiency decreases, the short circuit current density increases, and the open circuit voltage and fill factor decrease.
key words: Thin film solar cell - Copper Zinc Tin Sulphide (CZTS)- Efficiency – Filling Factor –Short circuit current - short circuit voltage - Temperature -One-dimensional simulation program (SCAPS).

1.المقدمـة:

الخلية الشمسية جهاز مصنوع من مواد أشباه الموصلات تحول ضوء الشمس إلى تيار كهربائي، حظيت الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة باهتمام أكبر خلال العقود القليلة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

الماضية، لاستخدامها المنخفض للمواد، و طريقة المعالجة عند درجات الحرارة المنخفضة، وتوفر طرق الترسيب المتنوعة ، والترسيب على ركائز منخفضة التكلفة[1].
ولكن هناك العديد من القيود التي تحد من خفض تكاليف انتاج الطاقة منها: ندرة المواد المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية، والتكلفة المرتفعة لبعض المواد، مثل: الأنديوم التليريوم، وبعض منها مواد سامة مثل: الكادميوم، والزرنيخ. إن هذه القيود أثارت مخاوف من استخدام وإنتاج الطاقة الشمسية [2] . لذلك هنالك حاجة لتحديد المواد ذات الأغشية الرقيقة التي تتكون من عناصر وفيرة وأقل سمية.
أصبحت الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة (نحاس، زنك، كبريتيد القصدير)، بدائل ممتازة منخفضة التكلفة، إن جميع العناصر الكيميائية في المركب متوفرة، وصديقة للبيئة، وتتميز بخصائص كهروضوئية جيدة، حيث تم اكتشاف التأثير الكهروضوئي في أفلام (CZTS) لأول مرة في عام 1988 من قبل ايتو ونكازا.[3]
تم إجراء العديد من الدراسات لاستبدال كبريتيد الكادميوم (Cds) الضارة بمواد بديلة في الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة نحاس زنك قصدير الكبريتيد (CZTS). صممWanda، و أخرون في عام 2016 خلية شمسية (CZTS) باستخدام برنامج سكابس، أظهرت النتائج كفاءة 15 % للخلية الشمسية نحاس زنك قصدير الكبريتيد (CZTS)[4] . وعمل B.Yassine و أخرون (2022) بمحاكاة الخلية الشمسية CZTS باستخدام برنامج المحاكاة سكابس، وذلك لمعرفة امكانية استبدال الطبقة العازلة كبريتيد الكادميوم السام بكبريتيد الزنك، تم الوصول الى كفاءة بمقدار 14.61%[5].
و قام c. Rachidy وأخرون (2022) بدراسة محاكاة عددية للخلايا الشمسية نحاس زنك قصدير الكبريتيد(CZTS) باستخدام برنامج سكابس للتحقيق من إمكانية استبدال كبريتيد الكادميوم بكبريتيد الانديوم وكبريتيد القصدير كطبقة عازلة، تم الوصول الى كفاءات 32.55% و32.50% لكبريتيد القصدير وكبريتيد الانديوم على التوالي .[6]
وتلعب المحاكاة العددية للخلايا الشمسية دورا في تحسين اداء الخلايا الشمسية واداء صلاحية النموذج المقترح للخلية الشمسية، كما انها طريقة مهمة للتنبؤ بتأثير المتغيرات

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

الفيزيائية على اداء الخلية الشمسية وفحص جدوى هياكل الخلية المقترحة [3]."كما انها تقلل من المخاطر والوقت والمال.[3–7–8].

2. مشكلة الدراسة:

بالرغم من النتائج الجيدة للخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من حيث توفر إمكانية تقليل التكاليف للتصنيع مقارنة بالخلايا الشمسية التقليدية القائمة على السليكون ، تم ابراز العديد من العيوب المتعلقة بالمواد المستخدمة بعض المواد نادرة و غير متوفرة وغالية الثمن مثل الجاليوم و الانديوم و السلينيد و بعض المواد سامة مثل الزرنيخ والكادميوم ،لذلك هنالك حاجة لتحديد المواد ذات الأغشية الرقيقة التي تتكون من عناصر وفيرة و أقل سمية و ذات كفاءة .يعتبر فيلم (نحاس قصدير الزنك كبريتيد CZTS) من المواد الجيدة المستخدمة في الخلايا الشمسية ذات الاغشية الرقيقة لما له من مميزات تجعله مادة امتصاص مثالية تستخدم لتكوين الطبقة الماصة كما ان مكوناته متوفرة ،مما يمكنه من يحل محل (CIGS) و(CdTe)، لأنها تتكون من مواد سامة و مواد نادرة .

وتعتبر الحرارة من أهم العوامل التي تؤثر على الخلايا الشمسية، حيث يتسبب ضوء الشمس في تسخين الألواح الشمسية، وبالتالي زيادة درجة حرارتها.

3.أهداف الدراسة:

تكمن أهداف هذه الدراسة في النقاط التالية: –

تصميم خلايا شمسية ذات الأغشية الرقيقة بتكلفة منخفضة، ومواد متوفرة، وغير سامة وبكفاءة جيدة.

دراسة تأثير الحرارة على الخصائص الكهربية للخلية الشمسية المصممة.

4.الإطار النظري:

برنامج محاكاة الخلايا الشمسية في بعد واحد (سكابس)، وهو برنامج تم تطويره في قسم الالكترونيات ونظم المعلومات (ELIS) في جامعة (جنت، بلجيكا، سنة 1996.[8–9].

ويتميز البرنامج بعدة مميزات منها:

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

- يمكننا من اضافة طبقات من اشباه الموصلات يصل الى 9 طبقات.
- يمكن للمستخدم تحديد خصائص طبقات اشباه الموصلات مثل فجوة الطاقة، السماحية، كثافة ناقلات الشحنة، كثافة العيوب ... وغيرها.
- اضاءة على الجانب nاو الجانب p.[10]
- تحديد شدة الاضاءة

يعتمد برنامج المحاكاة سكابس على الحلول لمعادلة بواسون، ومعادلة الاستمرارية للإلكترونات والثقوب، والتي تستخدم لوصف ظواهر النقل لأشباه الموصلات. [11.12.13]

معادلة الاستمرارية للإلكترونات والثقوب تعطى على النحو التالي

$$\frac{1}{q}\frac{dJ_n}{dx} = -G_n + R_n \quad (1)$$

حيث (G_n) معدل التوليد للإلكترونات و(R_n)معدل إعادة التركيب للإلكترونيات و(q) شحنة الالكترون، (J_n) كثافة تيار الإلكترونات.

$$\frac{1}{q}\frac{dJ_p}{dx} = G_p - R_p \quad (2)$$

حيث(G_p) معدل التوليد للفجوات و(R_p) معدل إعادة التركيب للثقوب و(q)شحنة الالكترون،(J_p) كثافةتيارالفجوات.

معادلة بواسون:

تبين العلاقة بين الجهد الكهربائي وكثافة الشحنة الكهربائية:

$$d^2U/dx^2 = {}^{\rho}/_{\epsilon} \quad (3)$$

(U) الجهد الكهربي، (ρ) كثافة الشحنة، (ϵ) السماحية لشبه الموصل

الخصائص المميزة للخلية الشمسية:

- **جهد الدائرة المفتوحة (V_{oc}):**

هو أقصى جهد تعطيه الخلية الشمسية من الإشعاع الشمسي في ظل ظروف الإضاءة القياسية، وفي هذه الحالة يكون التيار صفرا.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

- **تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}):**

هو تيار الخلية الشمسية في ظل ظروف الإضاءة القياسية، وفي هذه الحالة يكون الجهد صفرا.

وهو أقصى تيار تستطيع الخلية الشمسية إنتاجه من الاشعاع الشمسي.

- **عامل الملء:**

هو النسبة بين أقصى قدرة تنتجها الخلية الشمسية إلى القدرة التي تنتجها تحث الظروف القياسية.

يُعرف عامل الامتلاء (FF) لأي خلية شمسية كما يلي:

$$FF = \frac{p_{max}}{I_{sc}\, V_{oc}} = \frac{I_{mp}\, V_{mp}}{I_{sc}\, V_{oc}}$$

حيث (p_{max}) القدرة القصوى و (v_{mp}) القيمة القصوى للجهد، والقيمة القصوى للتيار (I_{mp}).

- **الكفاءة:**

تتحدد كفاءة أي خلية شمسية من خلال النسبة بين القدرة الكهربية القصوى الناتجة(p_{max}) إلى قدرة الإشعاع الشمسي الداخلة (p_{in}) في ظل ظروف الإضاءة القياسية.[2]

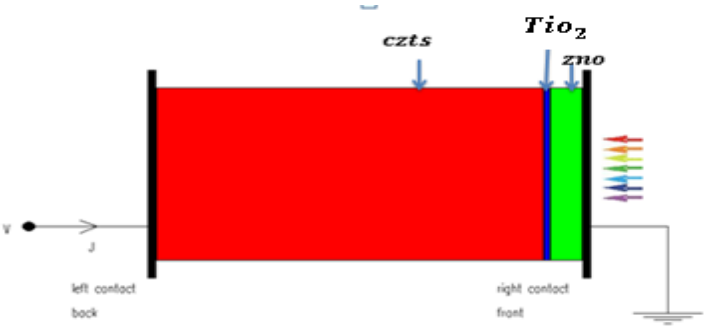
$$\eta = \frac{p_{max}}{p_{in}}$$

5- تصميم الخلية الشمسية:

تم تصميم نموذج الخلية الشمسية في هذه الدراسة كما هو مبين في الشكل (1)، يتكون من: الطبقة النافذة من أكسيد الزنك (ZnO)، الطبقة العازلة من ثاني أكسيد التيتانيوم من النوع (n)، الطبقة الماصة، وتتكون من مركب نحاس زنك كبريتيد القصدير (CZTS) من النوع (p)، وتعمل الخلية تحت ظروف الاضاءة القياسية (عند درجة حرارة 300 كلفن، والطيف الشمسي (كتلة هواء 1.5 AM)، وشدة إضاءة 1000 وات لكل متر مربع).

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 33 العدد
Part 2 المجلد
January 2024 يناير
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
ISTJ
تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م



شكل (1) نموذج الخلية الشمسية $CZTS/TiO_2/ZnO$

ويوضح الجدول (1) الإعدادات الخاصة بالمواد للطبقات المختلفة للخلية الشمسية المصممة، هذه الثوابت مأخوذة من الدراسات السابقة التجريبية والنظرية[2-3-10-11- 12-13-14-15] .

الجدول (1) الإعدادات الخاصة بالمواد للطبقات المختلفة للخلية الشمسية $CZTS/TiO_2/ZnO$

parameters	i_Zno	n_Tio_2	p-CZTS
d(μm)	0.25	**0.05**	3
E_g(ev)	3.3	3.26	1.5
χ(ev)	4.6	4.2	4.5
ϵ	9	**10**	10
$N_c(cm^{-3})$	2.2*10^18	2.2*10^18	2.2*10^18
$N_v(cm^{-3})$	1.8*10^19	1.8*10^19	1.8*10^19
V_{the}(cm/s)	10^7	10^7	10^7
V_{thp}(cm/s)	10^7	10^7	10^7
μ_n (cm^2/VS)	10^2	10^2	10^2
μ_p (cm^2/VS)	25	25	25
ND(cm^{-3})	10^19	10^18	0
NA(cm^{-3})	10^19	0	10^18

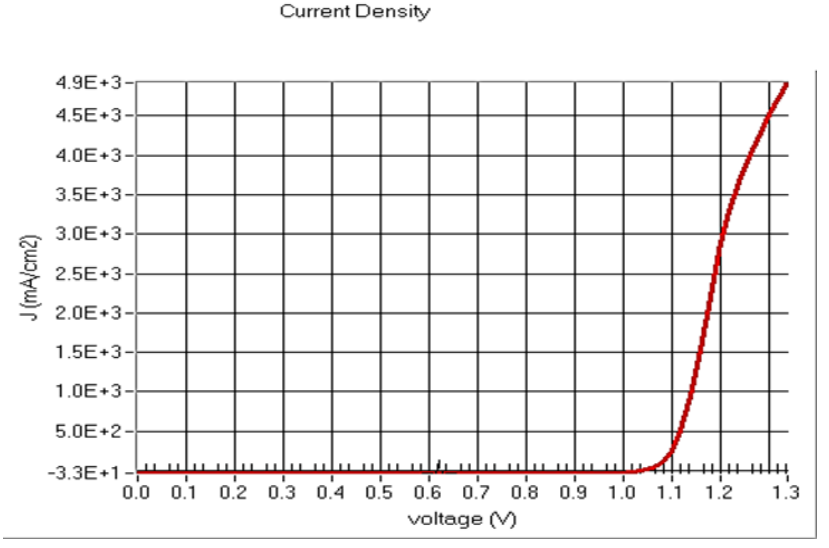
Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

6.النتائج والمناقشة:

- **منحنى الخصائص (J–V) للخلية الشمسية CZTS:**

بعد أن تم إدخال خصائص المواد للخلية الشمسية المصممة وتحديد نقطة العمل، تحصلنا على منحنى الخصائص (J–V) للخلية الشمسية الشكل (2)، كما تحصلنا على كفاءة (29.735 %)، وعامل الملء (87.501 %)، وفولتية الدائرة المفتوحة (1.039V)، وتيار الدائرة القصيرة ($32.712 mA/cm^2$).



الشكل (2) منحنى خصائص(J–V) للخلية الشمسية CZTS

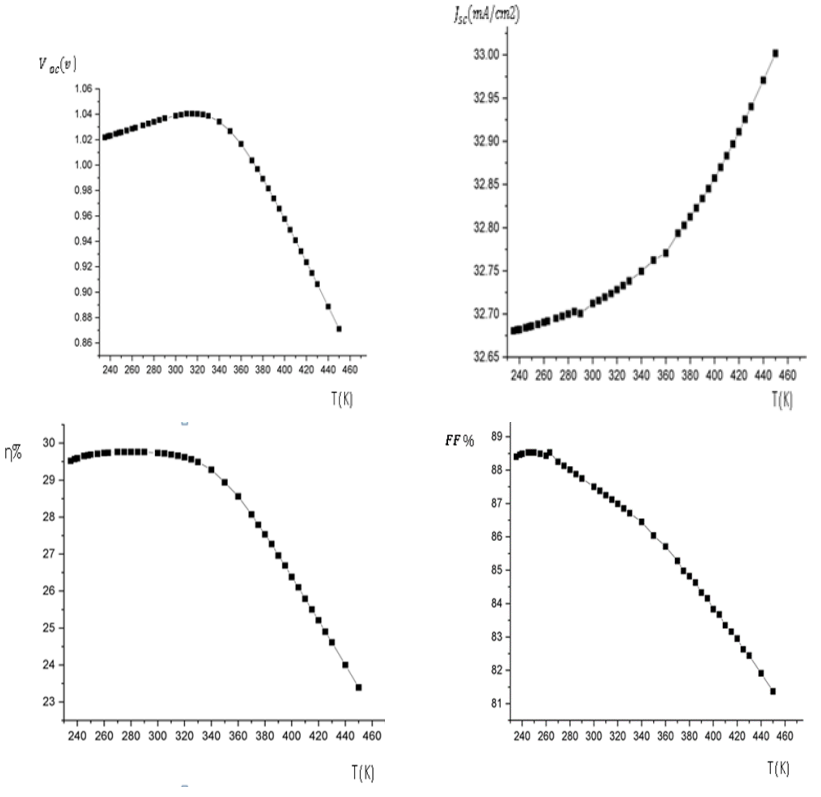
- **تأثير درجة الحرارة على خصائص الخلية الشمسية:**

تعتبر الحرارة من أهم العوامل التي تؤثر على الخلايا الشمسية، حيث يتسبب ضوء الشمس في تسخين الألواح الشمسية، وبالتالي زيادة درجة حرارتها.

تم دراسة تأثير تغير الحرارة على خصائص الخلية الشمسية (CZTS) في المدى من 235 كلفن إلى 450 كلفن، ولقد توصلنا الى نتائج المحاكاة الموضحة في الشكل (3).

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م



الشكل (3) تأثير درجة الحرارة على خصائص الخلية الشمسية CZTS

من الشكل (3) لقد تبين أن مع زيادة درجة الحرارة تقل كفاءة الخلية الشمسية ويزداد تيار الدائرة القصيرة ويقل جهد الدائرة المفتوحة وعامل الملء.

وتفسير ذلك أن زيادة درجة الحرارة تؤدي الى اكساب الالكترونات طاقة؛ مما يؤدي إلى تدفق الإلكترونات (توليد المزيد من التيار)

أي زيادة في تيار الدائرة القصيرة، ولكن في نفس الوقت ذاته فإن نتيجة الارتفاع في درجة الحرارة تؤدي إلى مزيد من التصادمات حيث تزداد طاقة الإلكترونات، وتتحد

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

الالكترونات التي تحتوي على قدر كبير من الطاقة مع الثقوب، ويزداد معدل إعادة التركيب، وتقل الكفاءة للخلية الشمسية.

7.الاستنتاجات:

تصميم خلية شمسية ذات الاغشية الرقيقة بمواد غير سامة باستخدام برنامج محاكاة للخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة.

أظهرت الدراسة الوصول الى تصميم خلية شمسية بكفاءة $\eta = 29.735\%$ ، وعامل الملء $FF = 87.66\%$ ،وجهد الدائرة المفتوحة $V_{oc} = 1.0385v$، وكثافة تيار $J_{SC} = 32.712090\ mA/Cm^2$.

كما استنتجت الباحثتان بأن درجة الحرارة لها تأثير على خصائص الخلية الشمسية؛ حيث تبين مع زيادة درجة الحرارة تقل الكفاءة وتزيد كثافة التيار للدائرة القصيرة، ويقل جهد الدائرة المفتوحة وعامل الملء.

جدول (2) الرموز والمصطلحات

الرمز	المعنى
CZTS	**Copper Zinc Tin Sulphide**
CIGS	**Copper Indium Gallium Diselenide**
CdTe	**Cadmium Telluride**
CdS	**Cadmium Sulphide**
Zno	**Zinc Oxide**
TiO_2	**Titanium Dioxide**
FF	**Fill Factor**
Voc	**Open circuit voltage**
Jsc	**Short circuit current density**
J-V	**Current Density-Voltage**
η	**Efficiency**
AM 1.5	**Air mass 1.5**
p_{in}	**input optical power**
G_n	**the generation process for electrons**
R_n	**the recombination rate for electrons**
G_p	**the generation process for holes**
R_p	**the recombination rate for holes**
J_n	**Electron current density**

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

J_p	hole current density
q	electron's charge
d	Thickness
μm	micrometer
E_g	Energy band-gab
eV	Electron Volt
χ	Electron Affinity
∈	Permittivity
N_c	Electron density of states
N_v	Hole density of states
μn	Electron Mobility
μp	Hole Mobility
V_{the}	electron thermal velocity
V_{thp}	hole thermal velocity
p_{max}	maximum power
I_{mp}	current at maximum power
V_{mp}	Voltage at maximum power
I_{sc}	short-circuit current
NA	Acceptor concentration
ND	Donor concentration

المراجع

[1] Jing Zhang.et al, (2018), Advanced Ceramic and Metallic Coating and Thin Film Materials for Energy and Environmental Applications, Springer International Publishing.

[2] C. Julian Chen (2011), Physics of Solar Energy, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey published simultaneously, Canada.

[3] Peijie Lin .et al, (2014), "Numerical Simulation of Cu_2 ZnSnS_4 Based Solar Cells with In_2 S_3 Buffer Layers by SCAPS_1D," Journal of Applied Science and Engineering, Vol.17, No.4, pp 383_390.

[4] Djinkwi Wanda. M, (2016), "Numerical Investigations and Analysis of Cu2ZnSnS4 Based Solar Cells by SCAPS-1D," International Journal of Photoenergy, vol. 2016, p 9،

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

تم استلام الورقة بتاريخ: 6/ 1/2024م وتم نشرها على الموقع بتاريخ: 31/ 1 /2024م

[5] B. Yassine, B. Tahar, G. Fathi. (2022), "Modeling and simulation of CZTS based solar cells with ZnS buffer layer and ZnO:F as a window layer using SCAPS-1D, " Vol. 19, No. 8, pp 503 – 511.

[6] C.Rachidy et al. (2022), "Enhancing CZTS solar cell parameters using CZTSe BSF layer and non-toxic SnS2/In2S3 buffer layer , " J. materials today: PROCEEDINGS , Vol.60 ,No 03.

[7] Adama Sylla1.et al, (2017) "Numerical Modeling and Simulation of CIGS-Based Solar Cells with ZnS Buffer Layer," Open Journal of Modelling and Simulation, 5, 218-231.

[8] Abu Kowsar.et al, (2019), "Comparative Study on Solar Cell Simulators," International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET) 23-24 .

[9] Marc Burgelman.et al, (2003), "Modeling Thin-film PV Devices," PROGRESS IN HOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS Prog. Photovolt: Res. Appl. 2003; 11:1–11 (DOI: 10.1002/pip.5244 7 The physics of solar cells Jenny Nelson- .

[10] M. Burgelman, P. Nollet, S. Degrave. (2000), "Modeling polycrystalline semiconductor solar cells," Thin Solid Films,vol 361–362,pp 527–532.

[11] Wycliffe Ise.et al. (2020), "Thickness Dependence of Window Layer on CH 3NH3 PbI3-x Clx perovskite solar cell," Hindawi International Journal of phtoenergy, Vol.2020, pp 7

[12] Usha Mandadapu.et al. (2017), "Design and simulation of high Efficiency Tin Halide perovskite solar cell," International Journal of Renewable Energy Research, Vol.7, No.4.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية