



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

فرع: الفيزياء

تخصص: فيزياء طاقوية وطاقات المتجددة

من إعداد الطالبين: جيدرور الحسين ، بوقصه خميسي

**** بعنوان ****

محاكاة خلية شمسية من الجيل الثالث لأنصاف النواقل

(Perovskite)

تمت المناقشة يوم: 2023/06/19 م

أمام لجنة المناقشة المتكونة من الأساتذة:

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ التعليم العالي	لزهر بن مبروك
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر قسم أ	محسن حسين
مشرفا	المدرسة العليا للأساتذة ورقلة	أستاذ محاضر قسم ب	محمد جريوي

الموسم الجامعي : 2022 / 2023

الإهداء:



اهدي هذه الكلمات البسيطة والمعبرة كتذكار وامتنان عميق لكل من ساهم

في رحلتي التعليمية ووقف بجانبني في جميع المعطات إلى

أمي الحنونة

شمس حياتي ومنحتني الحب والرعاية التي لا تضاهي

أشكرك من كل قلبي على التضحيات التي قدمتها لأجلي وعلى الدعم اللامحدود إلى

أبي العظيم

الذي كان صخرة قوية في حياتي ومصدر الحكمة والإلهام

أشكرك على رحلتك إلى جانبي ودعمك الثابت.

لقد علمتني الكثير من القيم والمثالية وأنا مدين لك بنجاحي.

ولا يمكنني أن أنسى إخوتي الأعمام، الذين كانوا دعامة قوية وسندًا لا يُقدر بثمن. بفضلكم،

تجاوزت الصعاب وتحديات التحديات. أنتم مصدر قوتي وإلهامي، ولا أستطيع أن أعبر عن مدى

شكري لكم.



ولن أنسى أبدًا **الخالدة الرائعة** التي كانت لي ثانية أم، **لتضمني** في حياتها بكل حنان

وحبه، أسأل الله أن يغفر لها ويرحمها ويسكنها فسيح جناته.

جيدور الحسين





الأهداء:

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة

نعود إلى أعوام قضيناها في

رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك

بجهودا كبيرة.

نود أن نعبر عن خالص امتناننا العميق

الدكتور جريوى ممد



أولا وقبل كل شيء، لثقتهم بنا، ثم على هذه الملاحظات، وهذه

النصائح، وهذا التشجيع والتوافر الدائم شكرا جزيلاً.

أهدي هذا العمل المتواضع إلى عائلتي وكل أصدقائي وكل من ساعدني

لإتمام هذا العمل وكان عوناً لي



بوقصه خميسي

شكر وتقدير



الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام

على أشرف الأنبياء والمرسلين سيدنا محمد

وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين.

والشكر كله أن وفقتنا وأممتنا الصبر على المشاق التي واجهتنا لإنجاز هذا

العمل المتواضع



نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى

الأستاذ: جريوي محمد

على كل ما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع

دراستنا في جوانبها المختلفة

كما نتقدم بجزيل الشكر إلى أعضاء

لجنة المناقشة الموقرة.



قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان	رقم
الفصل الأول: الإشعاع الشمسي وأنصاف نواقل		
16	توزيع الطيف الإشعاع الشمسي	الشكل (1-I)
17	محاكاة إشعاع الجسم الأسود لطيف الإشعاع الشمسي	الشكل (2-I)
18	أنواع الإشعاع الشمسي المساقط على سطح الأرض	الشكل (3-I)
18	المسافة بين الأرض والشمس	الشكل (4-I)
20	الأجزاء الأساسية للإشعاع الشمسي	الشكل (5-I)
20	تأثير الغلاف الجوي على طيف الإشعاع الشمسي	الشكل (6-I)
21	دائرة العرض (ϕ)، الانحراف الساعي (ω)، انحراف الشمسي (δ)	الشكل (7-I)
23	مقارنة نطاق الفجوة	الشكل (8-I)
24	أنواع البنية البلورية لأنصاف النواقل	الشكل (9-I)
26	تطعيم ذرات السيلكون بذرات الفسفور	الشكل (10-I)
26	ذرة البورون وعملية التطعيم	الشكل (11-I)
27	حوامل الشحنة الأكثرية والأقلية في شبه الموصل (المشوب)	الشكل (12-I)
29	حجم أولى مستخدم لاشتقاق معادلات الاستمرارية	الشكل (13-I)
30	صمام ثنائي الوصلة	الشكل (14-I)
30	منطقة الاستنزاف	الشكل (15-I)
31	مستويات الطاقة قبل وبعد تشكل الوصلة PN	الشكل (16-I)
31	الرمز الكهربائي للوصلة شوتكي	الشكل (17-I)
32	الصمام الثنائي المعيق	الشكل (18-I)
الفصل الثاني: عموميات حول الخلية الشمسية		
34	رسم توضيحي للخلايا الشمسية ومكوناتها	الشكل (1-II)
35	صورة تبين كيفية تركيب خلية شمسية	الشكل (2-II)
35	منطقة الاستنزاف في وصلة pn	الشكل (3-II)
36	رسم توضيحي يبين عمل الخلايا الشمسية	الشكل (4-II)
36	رسم تخطيطي لدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية	الشكل (5-II)
37	منحنى يوضح خصائص الجهد والتيار لخلية شمسية	الشكل (6-II)
39	خارطة أنواع وأجيال الخلايا الشمسية	الشكل (7-II)
39	الخلية الشمسية السليكونية أحادية البلورة	الشكل (8-II)

40	الخلايا الشمسية متعددة البلورات	الشكل (9-II)
40	صورة للخلية الشمسية CIGS	الشكل (10-II)
41	خلايا شمسية عضوية	الشكل (11-II)
41	الخلية الشمسية البيروفسكايت	الشكل (12-II)
42	البنية البلورية للخلية بيروفسكايت	الشكل (13-II)
42	خلية شمسية صبغية	الشكل (14-II)
الفصل الثالث: محاكاة خلية الشمسية Perovskite		
45	أيقونة برنامج SCAPS	الشكل (1-III)
45	الواجهة الأساسية لبرنامج SCAPS	الشكل (2-III)
46	نافذة مكونات الخلية الشمسية	الشكل (3-III)
46	الوسائط الخارجية لعمل الخلية الشمسية	الشكل (4-III)
46	يمثل معلمات الإضاءة	الشكل (5-III)
47	مخرجات الخلية الشمسية	الشكل (6-III)
47	لوحة منحنيات ونتائج	الشكل (7-III)
48	تعبئة معلمات الطبقات المختلفة في خلية الطاقة الشمسية	الشكل (8-III)
48	بنية الخلية الشمسية من نوع Perovskite	الشكل (9-III)

قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	رقم
24	عناصر أنصاف النواقل المهمة	الجدول (1-I)
42	ايجابيات وسلبيات الخلايا الشمسية	الجدول (2-II)
49	الثوابت الفيزيائية المستعملة لمحاكاة الخلية الشمسية من نوع Perovskite	الجدول (3-III)
49	تأثير سمك Th على خواص تيار - جهد في طبقة Cu_2O	الجدول (4-III)
51	تأثير تركيز Na على خواص تيار - جهد في طبقة Cu_2O	الجدول (5-III)
52	تأثير سمك Th على خواص تيار - جهد في طبقة TiO_2	الجدول (6-III)
54	تأثير تركيز Nd على خواص تيار - جهد في الطبقة TiO_2	الجدول (7-III)

قائمة الرموز

الرمز	المدلول
SCAPS-1D	برنامج المحاكاة الرقمية (تحليل البنيات الإلكترونية الدقيقة والفوتونية على بعد واحد)
CIS	سيلينيد نحاس إنديوم وهو مركب ثلاثي شبه موصل CuInS
CIGS	السيلند نحاس الغاليوم السيبتيوم شبه موصل Cu(In.Ga)Se
Se	السيلنيوم عنصر كيميائي عدده الذري 34 (عنصر سام)
Cd	الكاديوم عنصر كيميائي والعدد الذري 48
P_{max}	الاستطاعة القصوى
Cd	الكاديوم عنصر كيميائي والعدد الذري 48
R_s	المقاومة على التسلسل
R_{sh}	المقاومة على التفرع
PSC	البروفسكايت Perovskite

الفهرس

رقم الصفحة	العنوان
01	الاهداء
03	شكر و تقدير
04	قائمة الاشكال
06	قائمة الجداول
07	قائمة الرموز
08	الفهرس

رقم الصفحة	العنوان	رقم العنوان
14	مقدمة عامة	
الفصل الأول: الإشعاع الشمسي وأنصاف نواقل		
16	الإشعاع الشمسي	1-I
16	مقدمة	1-1-I
16	تعريف الإشعاع الشمسي (نظري)	2-1-I
17	تعريف الرياضي للإشعاع الشمسي	1-2-1-I
17	أنواع الإشعاع الشمسي	3-1-I
17	الإشعاع المباشر	1-3-1-I
17	الإشعاع المنتشر	2-3-1-I
18	الإشعاع الكلي	3-3-1-I
18	الثابت الإشعاع الشمسي	4-1-I
19	العوامل المؤثرة على شدة الإشعاع	5-1-I
19	الغلاف الجوي	1-5-2-I
20	الزوايا الشمسية	2-5-2-I

20	الإحداثيات الأرضية	1-2-5-2-I
21	الإحداثيات الزمنية	2-2-5-2-I
22	الإحداثيات الأفقية	3-2-5-2-I
22	أنصاف النواقل	2-I
22	تكوين الذرة	1-2-I
22	نطاقات الطاقة	2-2-I
22	نطاقات التكافؤ	1-2-2-I
22	نطاقات التوصيل	2-2-2-I
22	النطاق المحظور	3-2-2-I
22	تصنيف المواد	3-2-I
22	النواقل Conducators	1-3-2-I
23	العوازل Insulators	2-3-2-I
23	أنصاف النواقل Semi-Conducators	3-3-2-I
23	البنية البلورية لأنصاف النواقل	4-2-I
23	أنصاف نواقل البلورية	1-4-2-I
23	أنصاف نواقل أحادية التبلور	1-1-4-2-I
24	أنصاف نواقل متعددة التبلور	2-1-4-2-I
24	أنصاف النواقل لا بلورية (العشوائية)	2-4-2-I
24	أنواع مواد أنصاف النواقل	5-2-I
24	المواد الأساسية	1-5-2-I
24	عناصر أنصاف النواقل	1-1-5-2-I
25	المركبات نصف الناقلة	2-1-5-2-I
25	المواد العضوية	2-5-2-I

25	المواد اللايلورية	3-5-2-I
25	أنواع أنصاف نواقل	6-2-I
25	انصاف النواقل النقية (الذاتي)	1-6-2-I
26	أنصاف النواقل غير النقية (مطعمه)	2-6-2-I
26	الموصلات من النوع السالب N	1-2-6-2-I
26	الموصلات من النوع الموجب P	2-2-6-2-I
27	حاملات الشحنة الأكثرية الأقلية	7-2-I
27	كثافة حاملات الشحنة	1-7-2-I
28	معادلات انجراف و انتشار حاملات الشحنة	2-7-2-I
28	طاقة مستوى فيرمي	8-2-I
29	معادلة الاستمرارية	9-2-I
30	تطبيقات أنصاف نواقل	10-2-I
30	الصمام الثنائي الجانبي By pass Diode	1-10-2-I
30	صمام الثنائي الوصلة (P-N)	1-1-10-2-I
30	منطقة الاستنزاف Depletion region	2-1-10-2-I
31	حاجز الجهد The Potential barricr	3-1-10-2-I
31	مخطط الطاقة للوصلة PN	4-1-10-2-I
31	الوصلة شوتكي (schottky diode)	2-10-2-I
32	الصمام الثنائي المعيق	3-10-2-I
	الخاتمة	
32	ملخص الفصل	
	الفصل الثاني : عموميات حول الخلايا الشمسية	
34	تمهيد	1-II

34	تعريف الخلية الشمسية	2-II
34	صنع الخلايا الشمسية	3-II
35	مبدأ عمل الخلية الشمسية	4-II
36	الدارة الكهربائية المكافئة	5-II
37	خصائص منحنى الجهد و التيار (I-V)	6-II
37	خصائص $I(V)$ منحنى للخلية الكهروضوئية	1-6-II
37	تيار الدارة القصر ICC	1-1-6-II
37	توتر الدارة المفتوحة VCO	1-1-6-II
37	الاستطاعة الأعظمية للخلايا الكهروضوئية P_{max}	7-II
37	كفاءة التحويل η	8-II
37	معامل الشكل FF	9-II
38	العوامل المؤثرة سلبا في كفاءة الخلية الشمسية	10-II
38	طرق تجميع الألواح الكهروضوئية	11-II
38	تجميع الألواح الشمسية على تسلسل	1-11-II
38	تجميع الألواح الشمسية على تفرع	2-11-II
38	أنواع الخلايا الشمسية	12-II
39	الجيل الأول	1-12-II
39	الخلايا الشمسية أحادية البلورات	1-1-12-II
39	الخلايا الشمسية متعددة البلورات	2-1-12-II
40	الجيل الثاني	2-12-II
40	الخلايا الشمسية الغير متبلورة	1-2-12-II
40	خلايا الكاديوم تليرايد (CdTe)	2-2-12-II
40	خلايا سيلينييد نحاس إنديوم غالسيوم CIGS	3-2-12-II

41	الجيل الثالث	3-12-II
41	خلايا شمسية عضوية	1-3-12-II
41	الخلية الشمسية البروفسكايت (PSC) perovskite	1-1-3-12-II
42	خلايا شمسية صبغية	2-3-12-II
42	ايجابيات و سلبيات الخلايا الشمسية	13-II
الفصل الثالث : محاكاة خلية الشمسية Perovskite		
44	مقدمة	1-III
44	المعادلات الأساسية المتعلقة بمحاكاة الخلية الشمسية	2-III
44	معادلة بواسون	1-2-III
44	معادلة الاستمرارية	2-2-III
44	تعريف SCAPS	3-III
45	تعريف الخلية الشمسية	4-III
45	طريقة استخدام برنامج SCAPS	5-III
46	تحديد نوع المشكلة (Set problem)	1-5-III
46	الوسائط الخارجية المتعلقة بالخلية الشمسية	2-5-III
46	الإضاءة	3-5-III
47	تحديد القياس المراد محاكاته	4-5-III
47	المنحنيات التي تم محاكاتها	5-5-III
48	تحليل نتائج و مناقشتها	6-III
48	وصف بنية خلية شمسية perovskite	1-6-III
49	تحديد الثوابت و الشروط الأولية لمحاكاة الخلية الشمسية من نوع (Perovskite)	2-6-III
49	دراسة تأثير سمك Cu_2O على خواص تيار – جهد في الخلية الشمسية	3-6-III
51	دراسة تأثير تركيز Cu_2O على خواص تيار – جهد في خلية الشمسية	4-6-III

52	دراسة تأثير سمك TiO_2 على خواص تيار – جهد في خلية الشمسية	5-6-III
54	تأثير تركيز TiO_2 على خواص تيار – جهد في خلية الشمسية	6-6-III
55	الخاتمة	7-III
56	الخاتمة العامة	
57	المراجع	
63	الملخص	

المقدمة العامة

إن المواد النصف الناقل كانت ولا تزال موضع اهتمام الباحثين نظرا لما تمتاز به هذه المواد من خواص، حيث تتأثر توصيليتها الكهربائية بالحرارة و الضوء و المجال المغناطيسي ، وتصبح عازله عند اقتراب درجة حرارتها من الصفر المطلق في حين تكون موصله عند رفع درجة حرارته [1]، بالنظر لهذه الخواص المميزة و أهميتها الكبيرة ، فقد تعددت استخداماتها و تطبيقاتها العلمية و الإلكترونية ، فاستخدمت في صناعة المقاومات عام 1886، الديود، الترانزستور سنة 1964[2].

إن استهلاك الطاقة في العالم وفي الوقت الحالي في تزايد مستمر، وذلك بسبب تزايد عدد السكان و حدوث ثورة في التنمية الصناعية حاليا، يعتمد إنتاج الطاقة وبشكل أساسي على الوقود الأحفوري (النفط والفحم والغاز الطبيعي). وهو غير قابل للتجديد، كما أنه مورد محدود التوفر، أيضا استهلاكه يعتبر مصدر العديد من المشاكل البيئية مثل التلوث و حدوث ظاهرة الاحتباس الحراري [3] لذلك من المهم جدا تطوير مصادر بديلة جديدة للطاقة يمكنها تلبية الطلب المتزايد، لضمان التنمية المستدامة والحفاظ على البيئة. الطاقة الشمسية هي من أهم المصادر المرشحة لكي تكون مصدر طاقة المستقبل، لأنها مصدر طاقة لا ينضب ونظيف، كما تعتبر مصدر طاقة متزايد يمكن أن يغطي احتياجات الكهرباء العالمية. ونظرا لوفرتها حيث أن كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض في خلال ساعة تعادل الطاقة الكلية التي يحتاجها النوع البشري خلال سنة [4]، في الواقع يمكن تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء من خلال المركبات التي تسمى الخلايا الشمسية الخلايا الشمسية الكهروضوئية (PV) تملك العديد من المزايا، لأنها غير ملوثة للبيئة، توليد الطاقة الكهروضوئية في تزايد مستمر منذ العقود الماضية والى يومنا هذا، مع مراعاة خفض تكاليف التصنيع والزيادة في كفاءة التحويل [3].

يهدف هذا الموضوع المراد دراسته الحصول على أكبر نسبة مردود ممكن من خلية الشمسية البروفسكايت بإستعمال برنامج SCAPS، لذلك قمنا بتغيير سمك و تركيز المادتين أكسيد نحاس أحادي و تيتانيوم في كل مرة، **فما هو أفضل سمك و تركيز للمادتين من أجل تقديم أفضل مردود للخلية الشمسية بروفسكايت ؟** ، لمعرفة ذلك قمنا بتقسيم هذا العمل إلى ثلاث فصول والذي سنتحدث فيه كالتالي:

الفصل الأول: يحتوي مفاهيم أساسية حول أنصاف نواقل وإشعاع الشمسي (تعريف، خصائص، انواع، تطبيقات)، كما سيتم تقديم مفاهيم عامة حول الصمام الثنائي.

الفصل الثاني: يحتوي مفاهيم أساسية حول الخلية الشمسية (تعريفها، خصائصها، انواعها)، كما سنتطرق إلى معرفة الخلية الشمسية بروفسكايت

الفصل الثالث: سنتطرق إلى معرفة المفاهيم العامة للبرنامج SCAPS ،كما سنقوم بدراسة تأثير سمك و تركيز كل من أكسيد نحاس الأحادي و التيتانيوم على خواص الجهد-التيار .

الفصل الأول:

الإشعاع الشمسي وأنصاف نواقل

1-I الإشعاع الشمسي :

إن الطاقة الشمسية هي المسؤولة عن كل العمليات التي يتم حدوثها في الغلاف الجوي كالأضطرابات الجوية والرياح والسحب والأمطار والبرق والرعد وغيرها، وإنها السبب الرئيس في حركة الغلاف الجوي المستمرة وحالات الطقس، وكما أن الاختلافات الرئيسة التي تحدث بين مكان وآخر هي في توافر طاقة الشمس. والشمس هي كتلة غازية ملتهبة تكبر عن الأرض بمائة مرة من ناحية القطر وان حجمها يعادل تقريبا حجم الأرض بمليون مرة وتقدر درجة الحرارة لسطحه الشمس بنحو (6000) كلفن، وتبلغ حرارة المركز بقيمة أكثر من (20) مليون كلفن. [8,7]

1-1-I مقدمة :

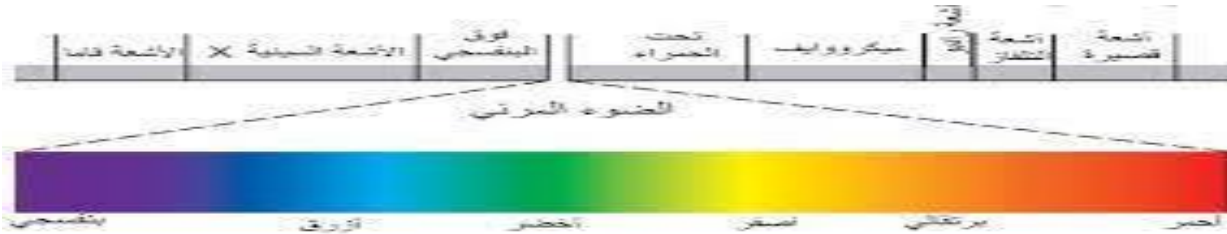
تعد الشمس منذ القدم مصدرا مهما وأساسيا للطاقة على سطح الأرض، وقد تطور استخدام الطاقة الشمسية عبر العصور بتطور العلوم والتكنولوجيا، فبعد أن استخدمها الإنسان للتدفئة والتجفيف، استغلها لتسخين الماء اعتمادا على مبدأ" التحويل الإشعاعي – الحراري "باستعمال اللاقط الشمسي، ثم تحولت وتطورت لإنتاج الطاقة الكهربائية وذلك بالاعتماد على مبدأ" التحويل الإشعاعي _الالكتروني "باستعمال المولدات الشمسية الفولطوضوئية[5]. إذ يعد الإشعاع الشمسي مصدر الطاقة الرئيس في الغلاف الجوي، إذ يساهم بأكثر من (99.98 %) من الطاقة التي تم استغلالها على سطح الأرض وبالغلاف الجوي، أما بقية المصادر من الطاقة المتمثلة بطاقة باطن الأرض وطاقة المد والجزر والنجوم فأنها لا تساهم إلا بقسط ضئيل جدا[6].

2-1- I تعريف الإشعاع الشمسي (النظري) :

هو الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الشمس ، يتوزع ضمن أطوال الموجات $\lambda \in [0.28\mu\text{m} - 4 \mu\text{m}]$ يتكون الطيف من ثلاثة أنواع رئيسية. [9]

- ✓ 9% من الأشعة فوق البنفسجية (UV) وتنتمي إلى المجال الذي يقل على $4\mu\text{m}$.
- ✓ 47% من الأشعة المرئية (LV) التي تنتمي إلى المجال $[0.4 \mu\text{m} - 0.8\mu\text{m}]$.
- ✓ 44% من الأشعة تحت الحمراء (IR) و التي تنتمي إلى مجال اكبر من $0.8\mu\text{m}$.

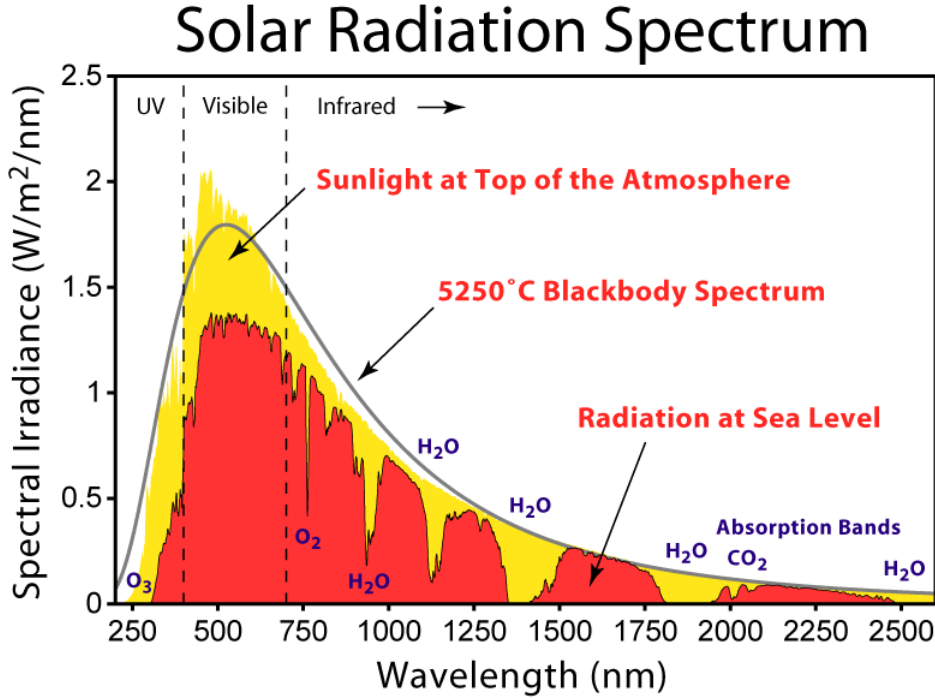
كما يعد المصدر الرئيسي للطاقة في الغلاف الجوي إذ يساهم بأكثر من 98% من الطاقة المستغلة فيه وعلى سطح الأرض.



الشكل (I- 1): توزيع الطيف الإشعاع الشمسي [10]

حيث: RX: الأشعة السينية ; $R\gamma$: الأشعة غاما ; RC: الأشعة الكونية. $\mu 0$: الأشعة الميكروويف ; oH : أشعة الراديو.

إن الإشعاع الشمسي يحاكي إشعاع الجسم الأسود في درجة الحرارة $T=5600K$ في مجال طيف $[0.28, 4] \mu m$ ، بينما يصل إلى سطح الأرض بعد بعض الامتصاصان من قبل مختلف الغازات وبخار الماء داخل الغلاف الجوي [11]. كما هو مبين في الشكل التالي:



الشكل (I-2): محاكاة إشعاع الجسم الأسود لطيف الإشعاع الشمسي [12]

1-2-1-I تعريف الرياضي للإشعاع الشمسي :

ترسل الشمس أشعتها على شكل فوتونات تنطلق بسرعة الضوء (c) على شكل موجات، حيث لكل فوتون طول موجي (λ) وكمية من الطاقة (E) تتناسب عكسيا مع الطول الموجي [11]، وحسب نظرية بلانك توضح بمعادلة الآتية:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1-1)$$

حيث:

- $\nu = \frac{c}{\lambda}$: تردد الموجة [HZ]
- λ : طول الموجة [m]
- $C=3*10^8 m/s$: سرعة الضوء في الفراغ
- $h=6.62*10^{-34} Js$: ثابت بلانك

3-1-I أنواع الإشعاع الشمسي :

تنقسم الأشعة الشمسية الواصلة إلى سطح المدروس نتيجة مرورها على سطح الغلاف الجوي إلى ثلاث أقسام:

1-3-1-I الإشعاع المباشر :

هو الإشعاع الساقط من الشمس إلى سطح الأرض مباشرة دون تبعثر أو ضياع خلال مروره بالغلاف الجوي.

2-3-1-I الإشعاع المنتشر :

هو الإشعاع الساقط من الشمس والذي ينتشر خلال تجاوزه الغلاف الجوي بحيث ينقسم هذا الأخير إلى قسمين

الأول الشعاع المنتشر في السماء والثاني الشعاع المنعكس من محيط السطح مثل الأرض. [13]

3-3-1-I الإشعاع الكلي :

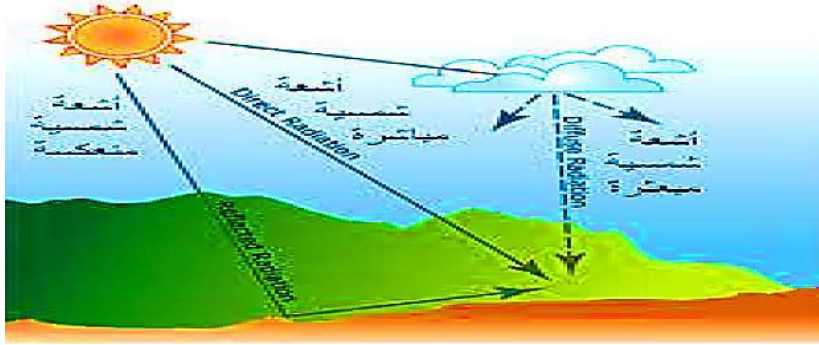
هو مجموع الإشعاع المنتشر والمباشر، ويمكن قياسه بجهاز pyranometer في حالة الإشعاع لناظمي $i=0$ بالعلاقة التالية:

$$G = (1270 - 56T_L)\text{Sinh}\left(\frac{TL+86}{88}\right) \quad (2-I)$$

حيث T_L معامل الاضطراب للغلاف الجوي وتعطي صيغته:

$$T_L = 2.5 + \beta A 0.16 + 0.15 \ln w \quad (3 - I)$$

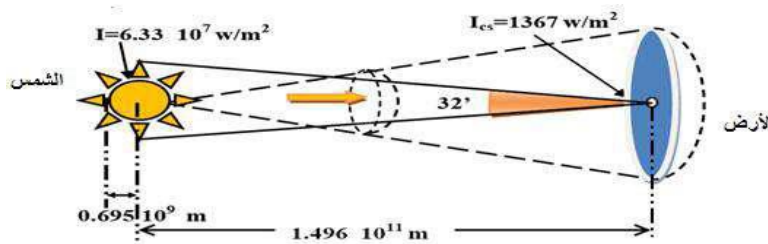
βA : معامل انغيشتروم w ارتفاع الماء المكثف وقيمته تتغير حسب الحالة الجوية [14]



الشكل (3- I) : أنواع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض [15]

4-1-I الثابت الإشعاع الشمسي :

هو تدفق الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح مساحته $(1m^2)$ مثبت في نهاية الغلاف الجوي الأرضي في وضع يكون فيه عمودي على أشعة الشمس، وذلك باعتبار المسافة بين الشمس والأرض على قيمتها المتوسطة خلال السنة والمقدر ب $(1.496.10^{11}km)$ وتقدر القيمة المتوسطة للثابت الشمسي ب $(I_0=1367w/m^2)$ [16]، كما يوضح الشكل (4-I) الآتي:



الشكل (4 -I): المسافة بين الأرض والشمس [17]

وخلال أيام السنة تعطى علاقة تصحيح ثابت الإشعاع الشمسي كما يلي:

$$I = I_0 + \left[1 + 0.034 \cos \left[(Nj - 2) \frac{360}{365} \right] \right] \quad (4 - I)$$

5-1-I العوامل المؤثرة على شدة الإشعاع :

تتأثر شدة الإشعاع الشمسي قبل وصولها إلى الأرض بعاملين أساسيين هما: الغلاف الجوي والزوايا الشمسية، والتي يسقط بها الإشعاع على الأرض والتي تتخذ أكثر المتغيرات التي تحدد هذين العاملين أسلوبا متناسقا يمكن به توقع شدة الإشعاع في موقع معين من أرض اعتمادا على مكانه من الكرة الأرضية والزمن (اليوم وشهر السنة). [18]

وتأتي التغيرات غير متوقعة في شدة الإشعاع في مكان معين من الأرض بسبب عوامل يصعب التحكم فيها مثل طقس وخصائصه من الحرارة وسحب والرياح والأمطار.....الخ. [18]

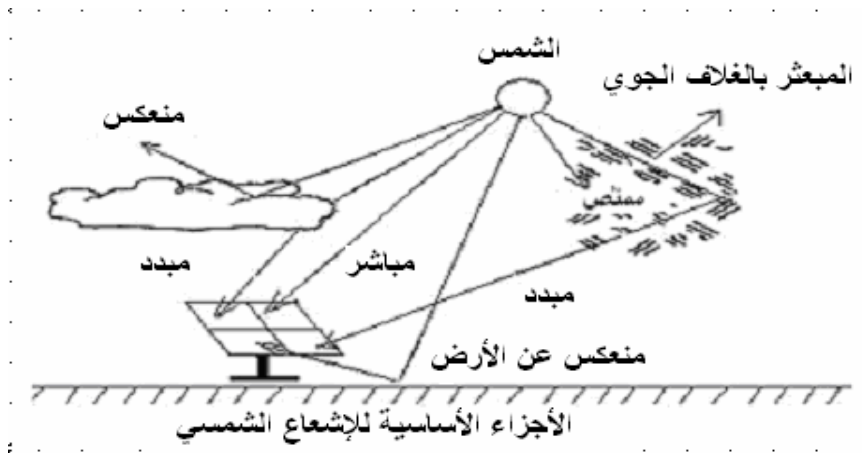
لذلك لا يمكن تقدير شدة الإشعاع الشمسي خلال اليوم أو الشهر أو السنة لموقع معين إلا بعد رصد العوامل المؤثرة فيه لعدة سنوات ومن ثم حساب متوسط هذه معلومات لذلك اليوم أو الشهر أو السنة أو تلك الفترة. [18]

1-5-1-I الغلاف الجوي :

يتكون الغلاف الجوي من عدة طبقات، يصل سمكها إلى عدة كيلو مترات فوق سطح الأرض، وعندما تخترق الأشعة الشمسية هذه الطبقات فإن مسارها وكميتها ستتغير حسب مكونات كل طبقة وسمكها، فغاز الأوزون مثلا (الموجود في الطبقة العليا من الغلاف الجوي على ارتفاع 48 كلم من سطح الأرض) يمتص تقريبا جميع الأشعة فوق البنفسجية. وهذه نعمة من الله على عباده إذ لو لا قدرته ثم وجود هذا الغاز لأصبحت الحياة على الأرض مستحيلة بسبب التأثيرات الضارة لهذه الأشعة [19].

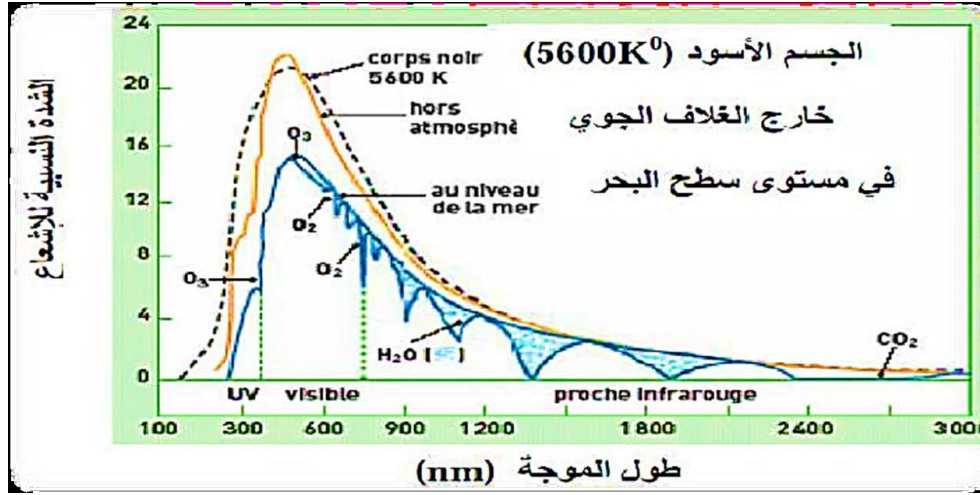
تلعب مكونات الغلاف الجوي دورا كبيرا في تقليص الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض وذلك عن طريق [20]:

- التشتت والامتصاص بسبب جزيئات الهواء.
- التشتت والامتصاص بسبب العوالق الصلبة في الجو.
- الامتصاص بواسطة بخار الماء وغاز أول أكسيد الفحم وغاز ثاني أكسيد الفحم.
- الانعكاس والامتصاص من طرف السحب وطبقات الجو، كما هو مبين في الشكل (5-I):



الشكل (5-I): الأجزاء الأساسية للإشعاع الشمسي [21]

بالإضافة إلى مكونات طبقة الغلاف، تلعب سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي دوراً هاماً في تحديد مقدار الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض، فعند منتصف نهار تكون الشمس عمودية و بالتالي تكون سماكة الغلاف التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي أقلية و الطاقة الواصلة للأرض أعظمية، أما عند الشروق و الغروب فان سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي تكون أعظمية و الطاقة الواصلة للأرض تكون أصغريه كما هو موضح في الشكل (I-5)، و لهذا السبب فان حجم طاقة الإشعاع الشمسي يكون مرتفع في المناطق ذات الارتفاع الكبير عن سطح البحر [20]



الشكل (I-6): تأثير الغلاف الجوي على طيف الإشعاع الشمسي [22]

I-1-5-2 الزوايا الشمسية :

بما إن شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض تابع لموقع سطح الأرض بالنسبة للشمس فإنه من الضروري تحديد بعض الزوايا الهندسية الموضحة للعلاقة بين سطح الأرض والشمس ونذكر منها:

I-1-5-2-1 الإحداثيات الأرضية:

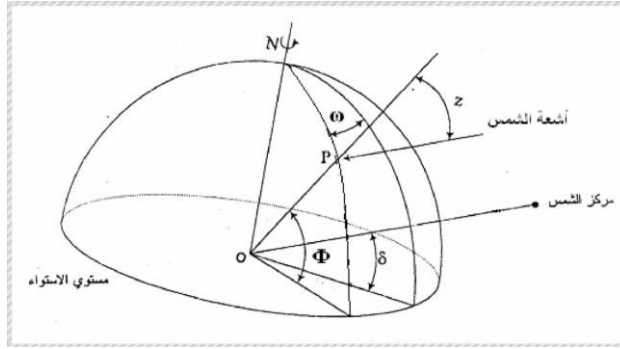
✓ خط الطول (L) (La Longitude):

هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المارة بالمنطقة مع خط الطول المار ببلدة غرينتش البريطانية يعتبر خط الصفر وتقرأ الزاوية الموجبة شرقاً والزاوية سالبة غرباً:

$$L \in [-180, +180] \quad (5 - I)$$

✓ دائرة العرض (ϕ) (La latitude):

تعرف بأنها الزاوية التي تحدد موقع النقطة على سطح الأرض وهي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين مركز الأرض وموضع النقطة على سطح الأرض مع مستوي خط الاستواء.



الشكل (7-I): دائرة العرض (ϕ)، الانحراف الساعي (ω)، انحراف الشمسي (δ) [23]

2-2-5-1-I الإحداثيات الزمنية:

✓ الانحراف الساعي (ω) (L'angle horaire) :

هي عدد الدرجات التي تتركها الشمس في مسارها اليومي عبر السماء وتكون صفر عند

الظهيرة حيث $1 \text{ hours} = 15^\circ$ وتحسب بالعلاقة التالية [24]:

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (6 - I)$$

TSV : يمثل التوقيت الشمسي الحقيقي الذي يعتمد الزوال الشمسي في منطقة ($w=0$) عند 12: 00، وتكون ($w<0$) صباحا، بينما تكون ($w>0$) مساء.

✓ الانحراف الشمسي (δ) (La déclinaison):

هي زاوية ميل أو انحراف الشمس عن خط الاستواء عند الظهر، وتتراوح قيمة هذه الزاوية بين

(+23.45) درجة في الانقلاب الصيفي، و (-23.45) درجة في الانقلاب الشتوي وتحسب بالعلاقة [25]:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + Nj) \right] \quad (7 - I)$$

حيث: Nj : يمثل الرقم 0 يوم من السنة الشمسية (1.2.3.....365)

3-2-5-1-I الإحداثيات الأفقية:

✓ زاوية الارتفاع الشمسي (h) (La hauteur du soleil) :

هي الزاوية التي يصنعها الشعاع الوارد إلى نقطة من سطح الأرض مع المستوى الأفقي المار بالنقطة

حيث تكون $h=0$ عند الشروق والغروب.

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (8 - I)$$

✓ زاوية السميت الشمسي (a) (L'azimut) :

هي الزاوية المحصورة بين الخط المار في النقطة على سطح الأرض والمتجه جنوبا وبين المسقط الأفقي

للخط الواصل بين النقطة على سطح الأرض والشمس [26]

$$\sin a = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cosh} \quad (9 - I)$$

2-I أنصاف النواقل:

1-2-I تكوين الذرة:

تتكون الذرة من نواة تحتوي على بروتونات ونيوترونات تدور حولها إلكترونات في مدارات، حيث تحتوي الذرة على عدد من الإلكترونات (شحنات سالبة) يساوي عدد البروتونات (شحنات موجبة) ولذلك الذرة متعادلة كهربائياً.

2-2-I نطاقات الطاقة:

كل ذرة منفردة لها مستويات طاقة محدودة تحمل هذه المستويات الصفة الكمية، وعند اقتراب الذرات من بعضها تتداخل هذه المستويات وتتأثر قيم الطاقة الخاصة بها (مكونات نطاقات من الطاقة). وتنقسم هذه النطاقات إلى ثلاث نطاقات:

1-2-2-I نطاقات التكافؤ:

والتي تنشأ من تداخل مستويات التكافؤ للذرات وتكون الإلكترونات الموجودة بها مقيدة بذراتها أي غير حرة ولا تساهم في عملية التوصيل الكهربائي [27] والذي يحتوي على الإلكترونات التي تشكل غالباً الروابط التساهمية. [28]

2-2-2-I نطاقات التوصيل:

وهي التي تنشأ من تداخل مستويات التوصيل وتكون الإلكترونات الموجودة بها غير مقيدة بذراتها أي حرة وهي التي تساهم في عملية التوصيل الكهربائي [27] وهو نطاق الطاقة المسموح والذي يوجد أعلى نطاق التكافؤ مباشرة [28].

3-2-2-I النطاق المحظور:

يفصل بين حزم التكافؤ والتوصيل فجوة من الطاقة والتي تنشأ من تداخل المستويات الغير مسموح للإلكترونات أن تشغلها [27] وهو الطاقة اللازمة لنقل الإلكترونات من نطاق التكافؤ لنطاق التوصيل. [29]

3-2-I تصنيف المواد :

1-3-2-I النواقل Conductors :

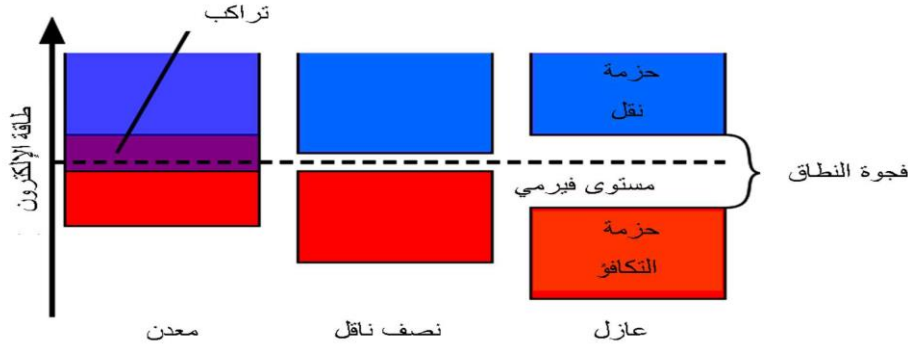
هي المواد التي تحتوي في مدارها الأخير من (1-3) الكترونات و يكون فيها نطاق التوصيل مترابط على نطاق التكافؤ ' كما يوجد في نطاق التوصيل عدد كبير من الالكترونات الحرة و التي تحتاج إلى طاقة لتحريكها ' غير انه تختلف هذه الطاقة باختلاف طاقة الربط بين النواة و الالكترونات الحرة ' وبذلك تختلف جودة التوصيل باختلاف هذه الطاقة و التي تتوقف على نوع التركيب الذري للمادة الموصلة أي مقاومتها النوعية [30].

2-3-2-I العوازل Insulators :

هي المواد التي تحتوي في مدارها الأخير على (5-8) الكترونات وهي مواد لا توجد في نطاق التوصيل الكترونات حرة ، ولكي تصبح هذه المواد موصلة يجب بذل طاقة (جهد) كبير جدا لكي تعبر الالكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل عبر نطاق المحظور [30].

3-3-2-I أنصاف النواقل Semi-Conductors :

هي أجسام صلبة ذات ناقلية كهربائية تقع ما بين الناقلية الخاصة بالمعادن الناقلة للكهرباء والخاصة بالعوازل. والناقلية الكهربائية لها خاصية تختلف اختلافاً كبيراً من جسم إلى آخر، وهي تكون في جسم صلب محدد تابعة لدرجة حرارته ونقاؤه الكيماوي. والتي بدورها تعمل على تحرير الالكترونات [31].



الشكل (8-I): مقارنة نطاق الفجوة [32]

4-2-I البنية البلورية لأنصاف النواقل :

تقسم أنصاف نواقل في بنيتها البلورية إلى قسمين رئيسيين وهما كالاتي:

1-4-2-I أنصاف نواقل البلورية :

تترتب ذرات المادة الصلبة في البلورة على شكل صفوف منتظمة تمتلك صفة الترتيب الدوري داخل الشكل الهندسي ويكون البعد بين الذرات متساوي وتنقسم إلى صنفين [33]:

1-1-4-2-I أنصاف نواقل أحادية التبلور :

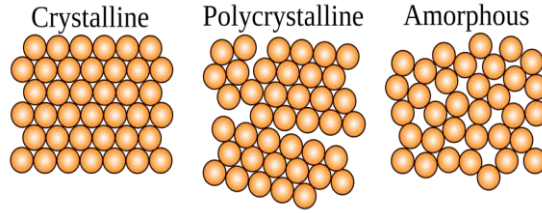
تمتاز هذه المواد بان ذراتها أو جزيئاتها لها ترتيب هندسي دوري وذات درجة عالية من الانتظام حيث تعيد نفسها دوريا وبصورة متكررة في الأبعاد الثلاثة وبالتالي فهي تمتلك نوعا من التماثل ويدعى ترتيب الذرات هذا في البلورة بترتيب المدى الطويل ويشار إلى الترتيب الدوري للذرات في البلورة بالشبكة التي تتشكل من وحدات مكررة على امتداد البلورة وتسمى كل وحدة من هذه الوحدات بوحدة الخلية. [33]

2-1-4-2-I أنصاف نواقل متعددة التبلور :

هي عبارة عن مواد تتكون من العديد من البلورات الأحادية الصغيرة تعرف بالحبيبات التي تمتلك كل منها على حد ترتيب المدى الطويل بينما تمتلك الحبيبات البلورية مجتمعة ترتيب المدى القصير تعرف مناطق التقاء الحبيبات التي عندها ينقطع الترتيب الدوري لكل حبيبة بالحدود الحبيبية. كما تمتاز هذه المواد بأنها متباينة الخواص الاتجاهية أي أن صفاتها المميزة تعتمد على اتجاه محاور البلورة. [33]

2-4-2-I أنصاف النواقل لا بلورية (العشوائية) :

حيث أن الترتيب الذري في أي جزء من المادة لا يشبه الذي يليه وبالتالي تكون الحالة غير مستقرة تير وديناميكيا أي تتحول إلى مادة متبلورة عند زوال العوامل التي تجعل تركيبها عشوائيا. كما تمتاز هذه المواد بأنها متماثلة الخواص الاتجاهية وبالتالي لا يظهر للاتجاه أي تأثير على خواصها [33]. كما هو موضح في الشكل (9-I) الاتي:



الشكل (9-I): أنواع البنية البلورية لأنصاف النواقل [34]

5-2-I أنواع مواد أنصاف النواقل :

تصنع أنصاف النواقل من مواد أساسية ومواد عضوية ومواد لا بلورية.

1-5-2-I المواد الأساسية :

تقسم مواد أنصاف النواقل الأساسية إلى مجموعتين : عناصر ومركبات.

1-1-5-2-I عناصر أنصاف النواقل :

فتكون عادة من عنصر واحد في الحالة الباطنية أو غير المطعمة وتقسم إلى مجموعات تكافئيه بحسب عدد إلكترونات التكافؤ التي تملكها كما يبينه الجدول رقم (1) ' ويعدّ الجرمانيوم و السيلكون خاصة أكثر العناصر استعمالاً في مكوّنات أنصاف النواقل الحديثة. ويبنى معظم مكوّنات أنصاف النواقل من شريحة وحيدة البلورة من عنصر مطعم تطعياً مناسباً، وتشمل عملية التحضير معالجة الجرمانيوم أو السيلكون لإنتاج شرائح رقيقة ناعمة وصقيله تكون عادة بقطر 5سم وبخانة 0.025سم وتكون مطعمة تطعياً مناسباً بالنوع N أو بالنوع P.

جدول (1-I): عناصر أنصاف النواقل المهمة [31]

المجموعة 2 عدد إلكترونات التكافؤ 2	المجموعة 3 عدد إلكترونات التكافؤ 3	المجموعة 4 عدد إلكترونات التكافؤ 4	المجموعة 5 عدد إلكترونات التكافؤ 5	المجموعة 6 عدد إلكترونات التكافؤ 6
بيريليوم Be	بورون B	كربون C	فسفور P	كبريت S
مغنيزيوم Mg	ألنيوم Al	سيلكون Si	زرنخ As	سيلينيوم Se
توتياء Zn	غالسيوم Ga	جرمانيوم Ge	إثم Sb	تلوريوم Te
كادميوم Cd	أنديوم In	رصاص Pb	بيزموت Bi	
	تاليوم Te			

2-1-5-2-I المركبات نصف الناقلية :

فهي مواد تحتوي على اثنين أو أكثر من العناصر نصف الناقلية بنسب ثابتة. فالمركبات الثنائية تحتوي على عنصرين نصفين ناقليين بنسبة واحد إلى واحد. وأكثر الأنواع فائدة من هذه المركبات الثنائية هي التي تحتوي على أربع إلكترونات تكافؤ في كل ذرة، ويمكن الحصول عليها من ضم عناصر المجموعة 3 إلى عناصر المجموعة 5 في الجدول 1 بنسبة واحد إلى واحد، أو عناصر المجموعة 2 إلى عناصر المجموعة 6. ولهذه المركبات بنية بلورية تشبه إلى حد ما البنية البلورية في عنصر الجرمانيوم أو السيلكون. ولمعظمها خواص كهربائية متمثلة، وقد يكون لبعضها خصائص كهربائية مختلفة جداً عن خصائص عنصر الجرمانيوم أو السيلكون. ويمكن لهذه المركبات أن تُحوّل إلى نصف ناقل

خارجي بتطعيمها بذرات من المجموعة 6 المانحة أو ذرات من المجموعة 2 الآخذة، أو بتغيير نسبة التركيب. ومن بعض هذه المواد المركبة مثلاً: زرنيخ الغاليوم وإثمد الإنديوم وكبريتيد الكادميوم والتوتياء. [31]

I-2-5-2 المواد العضوية :

توجد مجموعة من المواد العضوية لها ما يشبه خواص نصف الناقل، فلغشاء كلوريد البوليفينيليدين Polyvinylidene مثلاً خصائص الوصلة P-N، وهو مادة حساسة بالإشعاعات فوق البنفسجية، في حين تتصف البلورات الدقيقة من البولي إيثيلين Polyethylene بخاصية المقاومة السالبة. [31]

I-2-5-3 المواد اللابلورية :

ومنها بعض أنواع الزجاج والأكاسيد غير البلورية. وهي تشبه أنصاف النواقل البلورية في صفاتها الضوئية والكهربائية، وتتصف أيضاً بقدرتها على امتصاص موجات ضوئية محددة الأطوال، وتتغير ناقليتها الكهربائية أسياً مع درجة الحرارة ضمن مجال واسع من التغير.

I-2-6-1 أنواع أنصاف نواقل :

I-2-6-1-1 انصاف النواقل النقية (الذاتي) :

إن الأجسام ذات البنية الذرية التي تكون فيها عصابة النقل بعيدة عن عصابة التكافؤ التشاركي هي عوازل كهربائية. وأما الأجسام التي تغطي فيها عصابة التكافؤ التشاركي، جزئياً على الأقل، عصابة النقل فتكون أجساماً ناقلة أو موصلة. وثمة أجسام بين العوازل و النواقل لها بنية ذرية تكون فيها عصابات التكافؤ التشاركي والنقل متباعدة بما فيه الكفاية، فتعمل الإلكترونات المحيطة، في حال الراحة، على إنشاء بنية بلورية عازلة كهربائياً، وتغدو هذه الإلكترونات متقاربة بما فيه الكفاية فتتمكن بعض إلكترونات التكافؤ من الهروب بفضل إثارة ما من حرارة، أو ضوء، أو حقل كهربائي أو مغناطيسي أو غيرها، ويؤدي هروب هذه الإلكترونات إلى انخفاض المقاومة النوعية للبلورة، وتسمى هذه الخاصية بالناقلية الباطنية التي تمتلكها بعض الأجسام النقية مثل الجرمانيوم والسيلكون وهما من رباعيات التكافؤ، وتسمى مثل هذه البلورة عندئذٍ بنصف ناقل نقيه *intrinsic semi-conductor* لأنها تستمد نصف ناقليتها من بنيتها الداخلية المتجانسة المنتظمة [31].

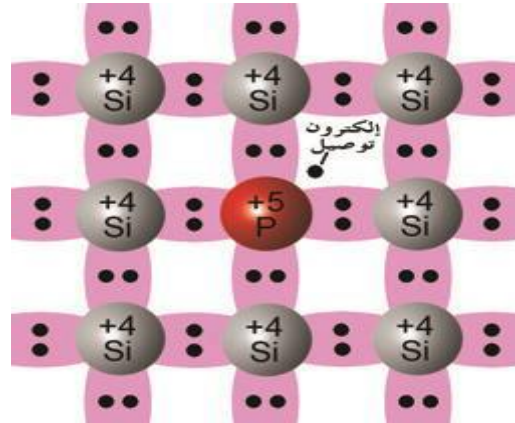
I-2-6-2-1 أنصاف النواقل غير النقية (مطعمه) :

إن أكثر خواص نصف الناقل فائدة تكمن في حقيقة أن ناقلتيه يمكن أن تتغير من دون إثارة، وذلك بحقن شوائب (تطعيم doping) في صميم البلورة. وتسمى عندئذٍ أنصاف نواقل خارجية *extrinsic semi-conductor*، وتظهر هذه الناقلية الخارجية على أحد شكلين: ناقلية النوع N وناقلية النوع P.

I-2-6-2-1-1 الموصلات من النوع السالب N :

أما ما يتصل بناقلية النوع N، ففي البنية البلورية المكعبة التي يمكن أن تشكلها الذرات الموجودة على رؤوس مجسم مربع الوجوه منتظم، إذا كانت إحدى هذه الذرات خماسية التكافؤ فإن أربعة من إلكتروناتها ترتبط بالذرات الرباعية التكافؤ المجاورة بالطريقة نفسها التي تترابط فيها هذه الإلكترونات فيما بينها، ويصبح الإلكترون الخامس

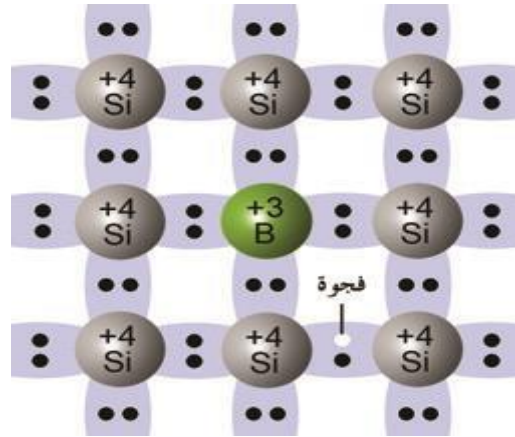
المحيطي حرأ من أي ارتباط تكافؤ، ويصبح انتقاله إلى عصابة النقل سهلاً في حال إحداهت تطعيم كافٍ لهذه البلورة' وهي نصف الناقل المانح أو المعطي و تعرف بأنصاف نواقل الخارجية من النوع N الشكل (10-I). [31]



الشكل (10-I): تطعيم ذرات السيلكون بذرات الفسفور [35]

2-2-6-2-I الموصلات من النوع الموجب P :

أقلية النوع P، في البنية البلورية نفسها، إذا كانت إحدى الذرات الشائبة ثلاثية التكافؤ فإن واحداً من روابط الإلكترونات المحيطة ينقص في علاقة التكافؤ، بمعنى أن الثقب المتكوّن يمكن ملؤه بالإلكترون هارب من ذرة مجاورة، ويمكن أن يقال عندها إن الأمر يتم كما لو أن الثقب نفسه قد انزاح. ويمكن عد هذا الثقب شحنة موجبة مؤهلة لأن تستقبل إلكترونًا. فإذا توافرت كمية كافية من الشوائب من هذا النوع فإن الناقلية تظهر عند درجة حرارة المحيط، وتتحرك الثقوب التي تسمى حوامل شحنات موجبة، باتجاه القطب السالب، تحت تأثير حقل كهربائي مناسب ويسمى نصف الناقل هذا بالأخذ أو المستقبل، او ما يعرف بأنصاف نواقل الخارجية من النوع P الشكل (11-I) [31].



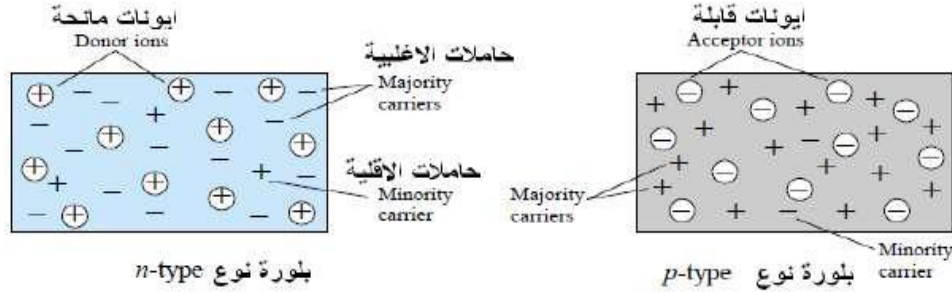
الشكل (11-I): ذرة البورون وعملية التطعيم [36]

7-2-I حاملات الشحنة الأكثرية الأقلية :

عند درجة الصفر المطلق تكون حاملات الشحنة هي الإلكترونات فقط لشبه الموصل من النوع الإلكتروني وثقوب فقط لشبه الموصل من النوع لثقبية. أما عند درجة حرارة الغرفة (300 ° مطلقة) فإنه بالإضافة إلى إلكترونات أو ثقوب الشوائب تكون أزواج إلكترونية-ثقوبية ذاتية. [37]

شبه الموصل الذي طعم بثلاثة إلكترونات في غلافه الخارجي والذي نتج عنه ظهور ثقب جديد يدعى بشبه الموصل الموجب. P-type وهنا يمكننا أن نعتبر أن الثقوب هي الحاملات الأغلبية Majority Carriers ، بينما الإلكترونات الحرة هي الحاملات الأقلية Minority Carriers [38].

شبه الموصل الذي طعم بعنصر له خمسة إلكترونات في غلافه الخارجي يسمى بشبه الموصل من النوع السالب type-N، عندها ستكون الإلكترونات الحرة هي الحاملات الأغلبية Carrier Majority، بينما الثقوب ستكون هي الحاملات الأقلية Minority Carrier [38] كما هو مبين في الشكل (I-12) :



الشكل (I-12): عوامل الشحنة الأكثرية والأقلية في شبه الموصل (المشوب) [39]

1-7-2-I كثافة حاملات الشحنة :

كثافة الإلكترونات الحرة في عصابة التوصيل وكثافة الثقوب في عصابة التكافؤ تعطى بالعلاقة التالية [40] :

$$P = N_V \exp \frac{-(EF - EV)}{KT} \quad n = N_V \exp \frac{-(EC - EF)}{KT} \quad (10 - I)$$

N_V : الكثافة الفعالة للثقوب في نطاق التكافؤ

$$N_V = \left(\frac{2\pi m_n KT}{h^2} \right)^{3/2} \quad (11 - I)$$

N_C : الكثافة الفعالة للإلكترونات في نطاق التوصيل

$$N_C = \left(\frac{2\pi m_h KT}{h^2} \right)^{3/2} \quad (12 - I)$$

m_n, m_h : الكتلة الفعالة للإلكترون و الثقب على التوالي ، h : ثابت بلانك و K : ثابت بولتزمان

2-7-2-I معادلات انجراف و انتشار حاملات الشحنة :

كثافة التيار الكلي للفجوات في أشباه الموصلات هي عبارة عن مجموع مركبات تيار الانجراف وتيار الانتشار

للفجوات وكذلك كثافة التيار الكلي للإلكترونات في أشباه الموصلات هي عبارة عن مجموع مركبات تيار الانجراف وتيار الانتشار للإلكترونات حيث [41] :

$$J_n = q_n \mu_n E \quad (13 - I)$$

$$J_p = q_p \mu_p E \quad (14 - I)$$

J_n و J_p : كثافة تيار انجراف الثقوب والالكترونات على التوالي.

μ_n : حركية الالكترونات في نطاق التوصيل $\mu_n = V \cdot E$

μ_p : حركية الفجوات في نطاق التوصيل $\mu_p = V \cdot E$

q : شحنة الإلكترون ، E : شدة المجال الكهربائي.

الكثافة الكلية للتيار المار عند أي نقطة:

$$J = J_n + J_p \quad (15 - I)$$

ومنه الموصلية تساوي إلى:

$$\sigma = \frac{J}{E} = q_{ne}\mu_n + q_p\mu_p \quad (16 - I)$$

8-2-I طاقة مستوى فيرمي :

يعرف مستوى فيرمي بأنه المستوى الطاقوي الذي يفصل جميع الحالات المشغولة بالإلكترونات في نطاقات الطاقة عن الحالات الفارغة [42] ، وهو المستوى الذي من اجله يكون احتمال انشغال حاملات الشحنة مساويا إلى % 50 [43] ، يعد مستوى فيرمي E_F مستويا مرجعيا نقارن النسبة بين طاقة الالكترونات والثقوب في مادة شبه الموصلة. يقع مستوى فيرمي في منتصف بين حزمة التوصيل والتكافؤ لأنصاف النواقل النقية لأن كثافة الالكترونات في حزمة التوصيل مساوية لكثافة الثقوب في حزمة التكافؤ أي $n=p$ [44]

أما بالنسبة لشبه الموصل من النوع n المطعم بذرات مانحة فإن مستوى فيرمي يقع قريبا من نطاق التوصيل لأن كثافة الإلكترونات في حزمة التوصيل أكبر بكثير من كثافة الثقوب في نطاق التكافؤ أي $n \gg p$ وهذا ما يعني أنه توجد مستويات طاقة مشغولة بالإلكترونات فوق منتصف نطاق الطاقة وبالمقابل فإن مستوى فيرمي في نصف الناقل من النوع P يقع فوق نطاق التكافؤ وقريبا منه [43].

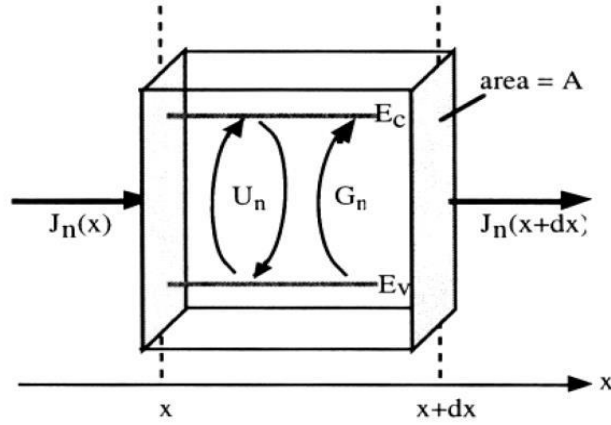
$$E_F = \frac{EC + EV}{2} + \frac{3}{4} KT \log \left(\frac{mh}{mn} \right) \quad (17 - I)$$

بما أن مستوى فيرمي قريب من منتصف فجوة النطاق وبافتراض أن الكتلة الفعالة للإلكترونات والكتلة الفعالة للثقوب متساوية فإن [45] :

$$E_F = \frac{EC + EV}{2} \quad (18 - I)$$

9-2-I معادلة الاستمرارية :

لاشتقاق المعادلات التي تصف تغير عدد حاملات الشحنة نتيجة أحداث التوليد/إعادة التركيب سنعتبر حجم تفاضلي من مادة شبه موصلة الشكل (II-13) بفرض مساحة المقطع للحجم قيد النظر هو A مع طول dx تكون كثافة التيار الالكتروني (الوحدة: أمبير لكل سم²) الذي يدخل الحجم لكل $J_n \square x \square$ وكثافة التيار المتدفق للخارج هي $J_n(x + dx)$. تدفق التيار في بعد واحد في اتجاه x فإن التغير في عدد الإلكترونات الحرة في الحجم $A dx$ يعطى كدالة في الزمن بواسطة عدد الإلكترونات الداخلة للحجم مطروح منه عدد الالكترونات المتدفقة الخارجة من الحجم زائد عدد من الإلكترونات المتولدة مطروحا منه عدد من الإلكترونات المعاد اتحادها [46].



الشكل (13-I): حجم أولى مستخدم لاشتقاق معادلات الاستمرارية [47]

$$A \frac{dn}{dt} dx = A \left(\frac{J_n(x)}{-q} - \frac{J_n(x+dx)}{-q} \right) + A(G_n - U_n)dx \quad (19-I)$$

$$J_n(x+dx) = J_n(x) + \frac{dJ_n(x)}{d(x)} dx + \dots \quad (20-I)$$

باستخدام النتيجة الأخيرة يمكن كتابة المعادلة (19-I) للحصول على معادلة الاستمرارية للإلكترونات:

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{1}{q} \frac{dJ_n(n)}{dx} + (G_n - U_n) \quad (21-I)$$

بنفس الحسابات نتحصل على معادلة الاستمرارية للفجوات:

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{1}{q} \frac{dJ_p(p)}{dx} + (G_p - U_p) \quad (22-I)$$

10-2-I تطبيقات أنصاف نواقل :

1-10-2-I الصمام الثنائي الجانبي By pass Diode :

1-1-10-2-I صمام الثنائي الوصلة (P-N) :

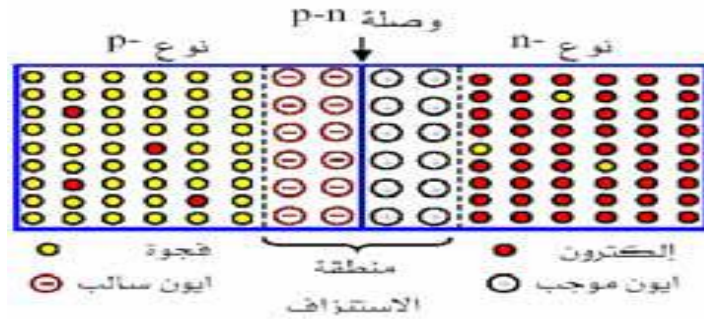
إن الوصلة P-N هي مركب أو عنصر نصف ناقل مؤلف من بلورة جزء منها مطعم بالنوع N والجزء الآخر مطعم بالنوع P، ويكون الجزآن منفصلين بسطح يسمى الوصلة. ولدراسة تصرف مثل هذا العنصر يمكن تخيل فصل الوصلة إلى جزأين، وربط الجزء N إلى قطب سالب (كاثود) لمولد كهربائي، والجزء P إلى قطب موجب (أنود) (استقطاب مباشر أو أمامي) [31]. ويرمز له في الشكل (14-I).



الشكل (14-I): صمام ثنائي الوصلة [47]

2-1-10-2-I منطقة الاستنزاف Depletion region :

عند جمع نصفي وصلة PN بالطريقة المذكورة أعلاه وبسبب أن تركيز حاملات الشحنة في أي من النوعين (الإلكترونات في النوع السالب والثقوب في النوع الموجب) هو أكبر بكثير مما هو في النوع الآخر مما يشير إلى عدم وجود انتظام في توزيع أي من هذه الحاملات عبر الوصلة أو بعبارة أخرى وجود انحدار في تركيز الإلكترونات ($\frac{dn}{dx}$) في المنطقة السالبة وكذلك تحدر في تركيز الثقوب ($\frac{dp}{dx}$) في المنطقة الموجبة كما هو موضحه في الشكل (I-15) [40]، وعند ذلك ستتحول منطقة الارتباط تلك إلى ما يسمى بمنطقة الاستنزاف (أو منطقة النضوب) Depletion region كما يوضح الشكل (I-15) ، ففي هذه المنطقة لن يظهر أي من الالكترونات الحرة أو الثقوب، ولكن فقط الذي سيظهر هو تلك الذرات المشحونة بالشحنات الموجبة والأخرى المشحونة بالشحنات السالبة [38].



الشكل (I-15): منطقة الاستنزاف [48]

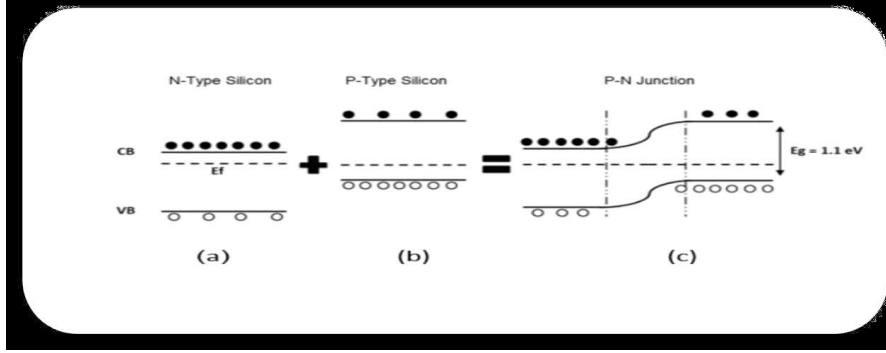
3-1-10-2-I حاجز الجهد The Potential barrier :

نتيجة لانتقال حاملات الشحنة بين نصفي الوصلة يزداد عدد الالكترونات في المنطقة (P) وعدد الفجوات في المنطقة (N) وبذلك يتكون فرق جهد بين المنطقتين مولدا مجالاً كهربائياً معاكساً لحركة حاملات الشحنة ويستمر انتشار حاملات الشحنة الأغلبية خلال الفاصل إلى أن يصبح المجال الكهربائي المتولد كافياً لإيقاف هذا الانتشار فيحصل التوازن (Equilibrium) حيث أن الإلكترونات الحرة لن تتمكن من العبور من (N) إلى (P) بسبب القوة المعاكسة الناتجة من المجال الكهربائي المتولد ، كذلك فإن الفجوات في (P) لن تتمكن من العبور إلى (N) لنفس السبب ، إذ يؤدي هذا المجال الكهربائي إلى توليد حاجز جهد (Potential barrier) و يدعى الجهد المتولد في حالة التوازن بجهد الوصلة (V_B)، و تعتمد قيمته على نوع المادة فمثلاً يكون جهد الوصلة للسليكون ($V_B=0.7V$) و الجرمانيوم ($V_B=0.3V$) و الشكل (I-16) يبين الوصلة الـ PN من السليكون مع تشكل حاجز الجهد. [49]

4-1-10-2-I مخطط الطاقة للوصلة PN :

حزم الطاقة قبل انتشار الالكترونات عبر الوصلة PN قد احتوت الجهة (p) على العديد من الفجوات في حزمة التكافؤ بينما تحتوي الجهة (N) على العديد من الالكترونات الحرة في حزمة التوصيل و كذلك يلاحظ أن حزم الطاقة للمنطقة (p) قد رسمت أعلى قليلاً من حزم الطاقة للمنطقة (N) ، وإن سبب ذلك يعود إلى أن ارتباط الالكترونات بالنواة في ذرات خماسية التكافؤ يكون أقوى من ارتباط الالكترونات بالنواة في ذرات ثلاثية التكافؤ ومن ثم

فإن الطاقة الكامنة للإلكترونات في الذرات الخماسية التكافؤ تكون أصغر من الطاقة الكامنة للإلكترونات في الذرات الثلاثية التكافؤ، أي أن الطاقة اللازمة لتحريرها تكون أكبر، وهذا يفسر سبب كون حزم (p) أعلى قليلاً من حزم (N)، كما هو مبين في الشكل (16-I).



الشكل (16-I): مستويات الطاقة قبل وبعد تشكل الوصلة PN [50]

2-10-2-I الوصلة شوتكي (schottky diode) :

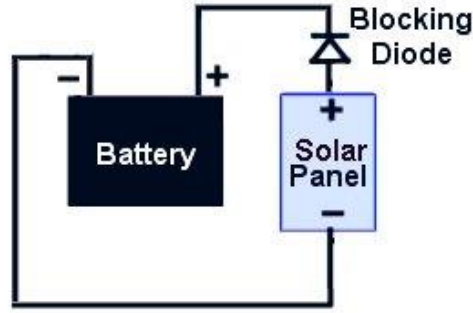
تم اكتشاف الوصلة (ديود) شوتكي عام 1874 من طرف العالم فرديناند براون f. Braun، وتمكن العالمان والتر شوتكي وموت Mott و Schottky عام 1938 من المساهمة في تطوير الوصلة شوتكي من خلال محاولاتهم المكثفة في دراسة حاجز الجهد الناتج من الشحنة الفضائية على سطح شبه الموصل [51] ويرمز لديود شوتكي برمز التالي:



الشكل (17-I): الرمز الكهربائي للوصلة شوتكي [52]

3-10-2-I الصمام الثنائي المعيق :

يستخدم لمنع تدفق التيار مرة أخرى من البطارية إلى اللوح الشمسي لحماية اللوح الشمسي من تفريغ البطارية أثناء الليل حيث يكون جهد اللوح الشمسي أقل من البطارية ويوصل هذا الصمام على التوالي مع اللوح الشمسي [53] ، كما هو موضح في الشكل (18-I)، حيث انه يمرر الصمام الثنائي التيار في اتجاه واحد فقط، وبالتالي فإن التيار من الألواح الشمسية يتدفق (منحاز للأمام) إلى البطارية والكتل من البطارية إلى اللوحة الشمسية (منحاز عكسي). [54]



الشكل (I-18): الصمام الثنائي المعيق [55]

ملخص الفصل :

تعرفنا من خلال هذا الفصل على أنصاف نواقل من مكوناتها وأنواعها وتطبيقات التي تطرأ عليها في خلية الشمسية، كما تطرقنا إلى الإشعاع الشمسي والعوامل المؤثرة عليها من (الزوايا الشمسية، الغلاف الجوي)، حيث سنتعرف في الفصل الثاني على الخلية الشمسية.

الفصل الثاني:

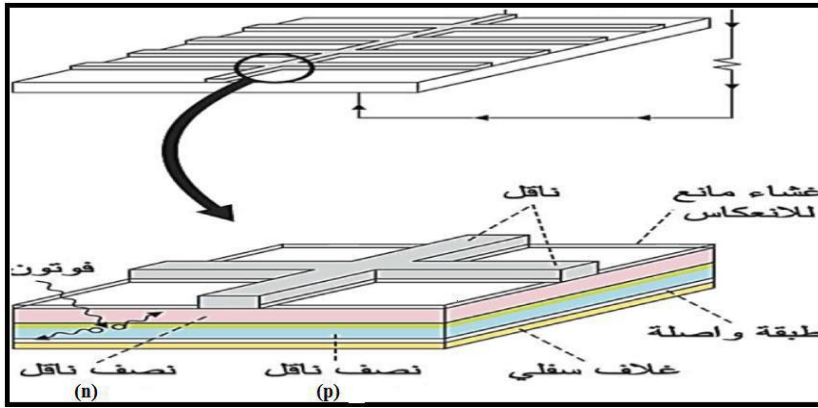
عموميات حول الخلايا الشمسية

II-1 تمهيد :

إن الخلايا الشمسية عبارة عن محولات فوتوضوئية تقوم بتحويل ضوء الشمس المباشر إلى كهرباء، والضوء الصادر من الشمس هو عبارة عن الجدول من جزيئات الطاقة الصافية المسماة فوتونات. حيث في هذا الفصل سنتعرف على مبدأ عمل خلايا الشمسية وأنواع خلايا الشمسية.

II-2 تعريف الخلية الشمسية :

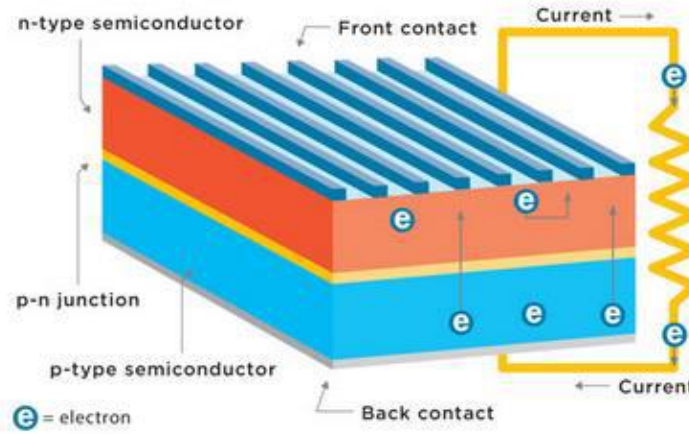
الخلية الشمسية أو الضوئية أو الكهروضوئية و كان يطلق عليها في الأيام الأولى لصناعتها بطارية شمسية ولكن أصبح ذلك يحمل معنى مختلف تماما الآن جهاز يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية مستغلا التأثير الضوئي الجهدي، وتتكون من طبقة سيلكون يضاف لها بعض الشوائب لتعطيها بعض الخواص الكهربائية ، فالطبقة العليا المقابلة لشمس يضاف إليها عنصر الفسفور، لتعطيها خاصية ضخ الإلكترونات عند ارتطام الضوئيات بها وتسمى هذه الطبقة بالطبقة بينما يضاف عنصر البورون للطبقة السفلى و يعطيها خاصية امتصاص الإلكترونات و تسمى N، فعند ارتطام ضوئيات الشعاع الشمسي بالطبقة العلوية تمنح الإلكترونات طاقة p هذه الطبقة بالطبقة تعتمد على شدة الإشعاع الشمسي ، و عند وجود موصل كهربائي بين الطبقتين تنتقل الإلكترونات من الطبقة العليا إلى طبقة السفلى وهكذا يتكون تيار و جهد كهربائيان [56].



الشكل (II-1): رسم توضيحي للخلايا الشمسية ومكوناتها [57]

II-3 صنع الخلايا الشمسية :

يتم تصنيع الخلايا الشمسية في أساس من السليكون، إذ تعتبر من أفضل أشباه الموصلات التي تستخدم في صناعة الخلايا الشمسية، تتوافر في طبيعة بشكل كبير ومتنها معقول. تبدأ عملية تصنيع الخلايا الشمسية السليكون الشديدا النقاوة ثم بعد ذلك يتم تسخين هذا إلى درجة انصهار و يتم إضافة عنصر البورون إليه لتكوين شبه الموصل الموجب (p-type semi-conducteur) و الذي يحمل الشحنة الموجبة ، و يتم بعد ذلك تشكيلها على شكل كتل باستخدام الصب ،ومن ثم يتم تقطيع هذه الكتل إلى شرائح رقيقة باستخدام مناشير السلكية ومن ثم تنظيفها ، و بعد ذلك يتم وضع هذه الألواح في أفران نثر للفسفور بحيث يتم نثر مادة الفسفور على جوانب الرقائق لتكوين طبقة من أشباه النواقل السالبة (n-type) ومن ثم يتم رش هذه الرقائق بطبقات متعددة من المواد الكيميائية لتقليل انعكاسية أشعة الشمس على الخلية . كما تقوم بعض الشركات المصنعة قبل ذلك بجعل سطح الرقائق أكثر خشونة من أجل تقليل الانعكاس وزيادة المساحة التي تسقط عليها الأشعة، ومن ثم يتم طبع موصلات كهربائية على الجزء السلب من الرقاقة ودهن ظهر الرقاقة بمادة ألمنيوم ومن ثم يتم اختيار الرقائق وتجميعها في مصانع أخرى على شكل ألواح شمسية ووضع طبقات زجاجية خاصة لحماية الرقائق وزيادة قدر الامتصاصية للرقائق وتقليل الانعكاس لها [58].

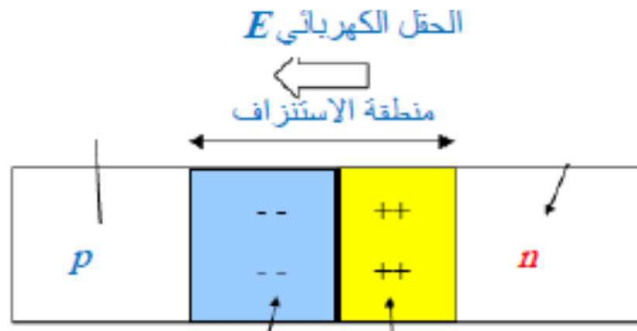


الشكل (2-II): صورة تبين كيفية تركيب خلية الشمسية [59]

4-II مبدأ عمل الخلية الشمسية :

يعتمد تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية على التأثير الكهروضوئي، الذي يحول مباشرة الطاقة الضوئية من أشعة الشمس إلى كهرباء من خلال إنتاج ونقل الشحنات الكهربائية الإيجابية والسلبية في مادة أشباه الموصلات مثل السيلكون [60].

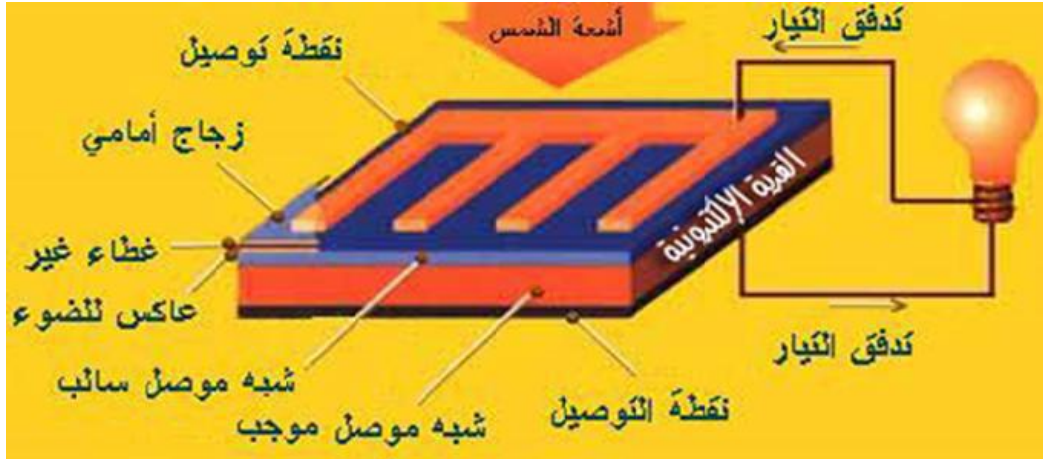
عند سقوط فوتونات (photons) الإشعاع الشمسي على منطقة التماس (p-n junction) سوف تكتسب بعض الإلكترونات طاقة من تلك الفوتونات مسببة رفعها إلى مستوى طاقة أعلى، نتيجة لهذه العملية تتكون إلكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل الكهربائي في أطراف الخلية، فعندما تتحرك هذه الإلكترونات تترك وراءها فجوات (trous) متحركة في المادة، و تزداد هذه الحركة بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية، فعند منطقة الارتباط (p-n junction) تنجذب بعض الإلكترونات المجاورة لها من جهة n لتتحد مع الثقوب في جهة p، و بنفس الطريقة فإن الثقوب المجاورة لمنطقة الارتباط من جهة p تنجذب لتتحد مع الإلكترونات في جهة n القريبة.



الشكل (3-II): منطقة الاستنزاف في وصلة pn [47]

ينتج عنى هذه الحركات تشكل حاجز عند هذه المنطقة التي تفصل النوع السالب عن النوع الموجب، يمنع هذا الحاجز المزيد من الإلكترونات الأخرى في جهة n من اتحاد مع الثقوب في جهة p فيكون لنا ما يسمى بالمجال الكهربائي.

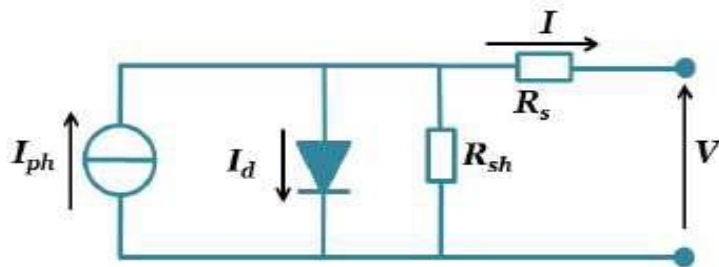
يعمل هذا المجال عمل الصمام الثنائي (Diode) حيث يسمح بمرور الالكترونات من الجهة الموجبة إلى الجهة السالبة والعكس غير صحيح، وبهذا يكون لدينا في كل خلية كهر وضوئية مجال كهربائي يحدد اتجاه حركة الالكترونات. إن سريان الالكترونات إلى جهة n والفجوات إلى جهة p هو ما يسمى بالتيار الكهربائي، فإذا كانت هناك دائرة خارجية تسمح بمرور التيار فيها فإن الالكترونات المتحركة تترك شبه الموصل إلى أحد أسلاك الخارجية في الخلية وفي نفس الوقت تتجه الفجوات إلى اتجاه المعاكس خلال المادة إلى أن تصل إلى السلك الخارجي الآخر في قاع الخلية، وعندها ستمتلى بواسطة الالكترونات القادمة من نصف الدارة الخارجية الأخرى. [61]



الشكل (II-4): رسم توضيحي يبين عمل الخلايا الشمسية [62]

II-5 الدارة الكهربائية المكافئة :

لفهم سلوك الخلية الكهروضوئية لابد من إنشاء نموذج كهربائي مكافئ لها، حيث يتكون من مولد تيار متناسبا مع قيمة الأشعة المستلمة على سطح الخلية الكهروضوئية، ومن صمام الثنائي الذي يمثل تقاطع (P-N) الموجود في خلية الكهروضوئية، من المقاومة التسلسلية R_s التي تأخذ في خسائر الاومية للمواد و المعادن و التلامس المعدني شبه الموصل، و مقاومة موازية R_p تمثل تيار التسرب الذي يقع بين الجزئين العلوي و السفلي من الخلية (P-N) عند الحافة بشكل خاص و داخل المادة، و ذلك بسبب عدم التجانس أو وجود الشوائب أو العيوب. [60]



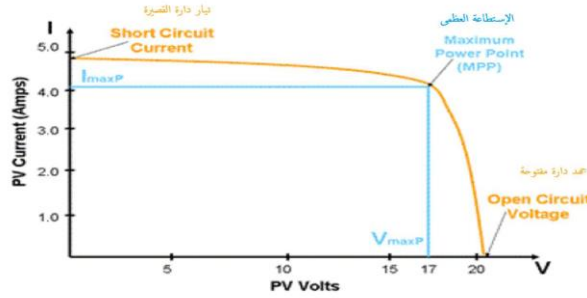
الشكل (II-5): رسم تخطيطي لدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية [63]

حيث: V: الجهد.

I: تيار الخلية I_{ph} : التيار الضوئي ناتج من الخلية. (A) I_d : تيار التشبع العكسي للدايود. (A) R_{sh} : مقاومة التوازي (Ω). R_s : مقاومة التوالي (Ω).

II-6 خصائص منحنى الجهد و التيار (I-V) :

الخلية الكهروضوئية هي عبارة على فرق جهد دارتها المفتوحة و تيار دارتها المغلقة، والشكل (6-II) يوضح العلاقة بين الجهد و التيار للخلية الشمسية [10]:



الشكل (6-II): منحنى خصائص جهد و التيار [10]

II-6-1 خصائص I(V) منحنى للخلية الكهروضوئية [64]:

II-6-1-1 تيار الدارة القصر I_{CC} :

هو التيار المار في الخلية الكهروضوئية بدون مقاومة، أي بتعبير آخر هو أقصى تيار تستطيع الخلية إنتاجه من

$$I_{cc} = I_{ph} \text{ حيث: } (V=0)$$

II-6-1-2 توتر الدارة المفتوحة V_{CO} :

هو فرق الجهد بين أطراف الخلية الكهروضوئية في حالة عدم مرور أي تيار بدائرة ($I=0$)، عندما تكون

مقاومة الحمل مالا نهاية، يمكن تعبير عليه بالعلاقة التالية:

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_{cc}}{I_s} + 1 \right) \quad (1 - II)$$

II-7 الاستطاعة الأعظمية للخلايا الكهروضوئية P_{max} :

هو ناتج الأعلى من حاصل الضرب بين النقطة القصوى للتيار I_m والنقطة القصوى للجهد V_m أي عند نقطة

تشغيل وتعطى بالعلاقة التالية [65]:

$$P_{max} = I_m \cdot V_m \quad (2 - II)$$

II-8 كفاءة التحويل η :

هي النسبة بين الطاقة العظمى التي تنتجها الخلية وقوة الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الخلية، يمكن تلخيصها

في علاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{cc} \cdot V_{co}}{G \cdot S} \quad (3 - II)$$

حيث أن: S : سطح الخلية (m^2) G : شدة الإشعاع (W/m^2)

يمكن تحسين الكفاءة من خلال زيادة نسبة معامل الشكل و تيار الدارة القصر و فرق الجهد الدارة المفتوحة، ومعرفة قيمتها

من أداء الخلية [66].

II-9 معامل الشكل FF :

هو النسبة بين الطاقة القصوى P_{max} وطاقة المنتجة P_T ويعطى بالعلاقة التالية: [67]

$$FF = \frac{P_{max}}{PT} = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{cc} \cdot V_{co}} \quad (4 - II)$$

حيث: P_{max} : تمثل مساحة أصغر مستطيل P_T : تمثل مساحة أكبر مستطيل

10-II العوامل المؤثرة سلباً في كفاءة الخلية الشمسية :

- ✓ الامتصاص الجزئي للفوتونات العارضة: الفوتونات العارضة للطاقة E أقل من فجوة أشباه الموصلات ($E < E_g$) لا يمكن أن تولد أزواج خاضعة للتحكم الإلكتروني وبالتالي تضيع.
- ✓ خسائر بسبب طاقة الفوتون الزائدة: ينتج فوتون الطاقة الحادث الذي يزيد الفجوة ($E > E_g$) زوجاً واحداً فقط من (ثقب- إلكترون) يتم نقل الطاقة الزائدة على شكل حرارة إلى المادة.
- ✓ الضياعات الناتجة عن انعكاس أشعة الضوء الساقطة على السطح: يتم امتصاص جزء فقط من الإشعاع الشمسي بينما ينعكس الجزء الآخر [68]

II-11 طرق تجميع الألواح الكهروضوئية :

II-11-1 تجميع الألواح الشمسية على تسلسل:

يتم ربط عدد من الألواح الشمسية لزيادة الجهد الحاصل، بحيث يبلغ جهد اللوحة الواحدة 12 فولط مستمر فعند الوصل التسلسلي لمجموعة من الألواح الشمسية عددها (n) فإن التيار الناتج هو نفسه تيار اللوح الواحد، أما بالنسبة للجهد المتحصل عليه فيمثل مجموع الجهد كل لوح شمسي. [69]

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (5 - II)$$

$$V = \sum_i^n = nV_i \quad (6 - II)$$

إذا كانت جميع الألواح متماثلة وتعرضت لنفس الشروط (شدة السطوح ودرجة الحرارة) يصبح التوتر (الجهد) الإجمالي:

$$V = \sum_i^n = V_i \quad (7 - II)$$

II-11-2 تجميع الألواح الشمسية على تفرع :

في هذه الحالة يتم تجميع الألواح على التفرع من أجل زيادة التيار الحاصل فعند ربط عدد n من الألواح الشمسية المتماثلة على التفرع فإن الجهد الناتج هو نفسه الجهد بالنسبة للوح الواحد أما التيار المتحصل عليه يساوي مجموع التيارات الخاصة لكل لوح وذلك واضح من خلال العلاقات التالية [69-70]:

$$I = \sum_i^n = nI_i \quad (8 - II)$$

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (9 - II)$$

II-12 أنواع الخلايا الشمسية :

تعتمد أساساً على أنصاف النواقل المشابه لتشكل الوصلة P-N، حيث تقسم هذه الخلايا الشمسية إلى ثلاث أجيال مختلفة مصنفة بحسب المواد المستخدمة وكيفية تصنيعها وهي جميعاً تقوم بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية [71]



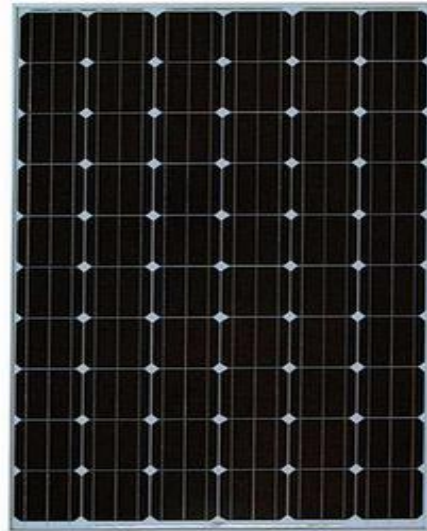
الشكل II-7: خارطة أنواع وأجيال الخلايا الشمسية [72]

1-12-II الجيل الأول:

يعتمد بشكل أساسي على رقائق السليكون وعادة ما تظهر كفاءته حوالي 15-20% هذه الأنواع من الخلايا الشمسية تهيمن على السوق (الأكثر توافراً والأسواق) وهي بشكل رئيسي تلك الموجودة على أسطح المنازل. تكمن فوائد تقنية الخلايا الشمسية هذه في أدائها الجيد، فضلاً عن استقرارها العالي. ومع ذلك، فهي صلبة وتتطلب الكثير من الطاقة في الإنتاج. لا يزال يمثل أكثر من 80% من سوق الخلايا الشمسية هناك نوعان من الخلايا الشمسية السليكونية البلورية [71].

1-1-12-II الخلايا الشمسية أحادية البلورات :

تعتبر الخلايا أحادية البلورة أحسن الخلايا في السوق لكونها تقدم أفضل مردود (من 16 إلى 24%) إلا أنها مكلفة للغاية فهي باهضة الثمن، كما هو مبين بشكل (II-8) [73]



الشكل II-8: الخلية الشمسية السليكونية أحادية البلورة [52]

2-1-12-II الخلايا الشمسية متعددة البلورات :

تعتبر أرخص في تكلفه الإنتاج عن رقائق السليكون أحادية البلورة، تتكون من قوالب من بلورات سيلكون متعددة بدلاً من بلورة واحدة يمكننا أن نعرف أنه من الرؤية الأمامية للخلية كما هو موضح في الشكل (II-9)، حيث لا تحتاج ظروف النمو إلى أن تكون بإحكام خاضع للسيطرة، ينمو عدد من بلورات السليكون المتشابكة معا. الألواح المستندة إلى هذه الخلايا أرخص لكل منطقة موحدة من الألواح أحادية البلورية ولكنها أيضاً أقل قليلاً في الكفاءة (حتى 19.3% [71]).



الشكل II-9: الخلايا الشمسية متعددة البلورات [55]

II -12-2 الجيل الثاني :

تُعرف خلايا الجيل الثاني باسم الخلايا رقيقة الغشاء (Thin-film) ، لأنها أقل سماكة من نظيرتها السليكونية وتكون سماكتها من مرتبة المايكرو متر، ولذلك فهي أقل تكلفة في الصناعة وأقل استهلاكاً للمواد. [71] يتضمن هذا الجيل الكثير من الأنواع:

II-12-2-1-2 الخلايا الشمسية الغير متبلورة :

العيب الرئيسي للسليكون هو معامل امتصاصه المنخفض. ومع ذلك، من خلال تناول مادة السليكون غير المتبلورة بشكل كبير مع الهيدروجين، يمكن جعل معامل الامتصاص الخاص بها يصل إلى 10^{-5} Cm^{-1} مع تحول فجوة النطاق من 1.1 eV إلى 1.75 eV، على غرار تلك الموجودة في CdTe، غالباً ما يتم اختصار هذه المادة على أنها Si: H بسبب كثافة العيوب العالية، لاحظ إن معدل الكفاءة مرتفع، حيث تبلغ كفاءة أفضل الخلايا الشمسية التجريبية Si: H حوالي 10% بالنسبة للخلايا الشمسية المنتجة بكميات كبيرة فهي حوالي 5% [71]

II-12-2-2 خلايا الكاديوم تليرايد (CdTe) :

عمليات ترسيب الكاديوم تليرايد لصناعة الخلايا سريعة للغاية مما يقلل من تكاليف الإنتاج، كفاءتها تقدر ب 10%، لكن من عيوبها أن مادة الكاديوم سامة جداً [74]

II-12-2-3 خلايا سيلينيد نحاس إنديوم غالسيوم CIGS :

تم اكتشاف نظام $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ في عام 1974م ككاشف للضوء الكهروضوئي. في عام 1975م، تم بناء خلية شمسية باستخدام هذه المواد التي أظهرت قوة مقارنة مع الخلايا الشمسية السليكونية في ذلك الوقت، في عام 2000م بلغت كفاءة خلايا CIGS الشمسية الرقيقة 19.9%، مقارنة بالخلايا الشمسية الكريستالية السليكونية، فجوة النطاق CuInSe_2 قريبة جداً من قيمة المثلى، لكن معامل امتصاصها أكبر بحوالي 100 مرة من السليكون ولذلك، حتى ولو كان أشباه الموصلات رقيقة مثل 2 ميكرون، وأكثر من 90% من الضوء القريب من الأشعة تحت الحمراء والمرئية سيتم امتصاصه. يظهر الشكل الخلية CIGS في الشكل (II-10). [71]

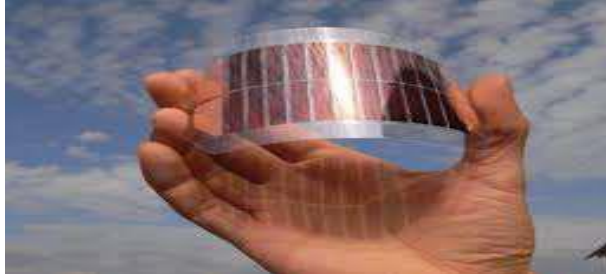


الشكل II-10: صور للخلية الشمسية CIGS [50]

II-12-3 الجيل الثالث :

II-12-3-1 خلايا شمسية عضوية :

تحتوي مركبات عضوية في تركيبها و تضم الخلايا الشمسية الصبغية و خلايا البروفسكايت perovskite. وصلت كفاءة الخلايا العضوية حتى 16.5% وهذه القيمة منخفضة نسبياً بالمقارنة مع الخلايا السليكونية التقليدية التي وصلت إلى 27.6% ولكن ازدياد أهمية الخلايا الشمسية العضوية في التطبيقات المختلفة استدعى زيادة الأبحاث لرفع الكفاءة والوصول إلى قيم للكفاءة قد تتجاوز أو تتساوى مع الخلايا السليكونية التقليدية [73].

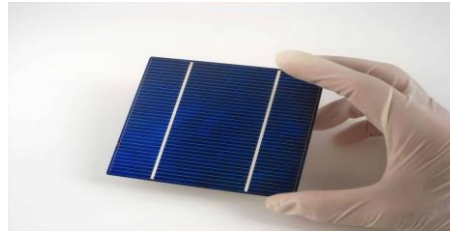


الشكل (II-11): خلايا شمسية عضوية [47]

II-12-3-1-1 الخلية الشمسية البروفسكايت (PSC) perovskite :

• تعريف البروفسكايت:

هو أكسيد الكالسيوم تيتانيوم أو كالسيوم تيتانيت وصيغته الكيميائية $CaTiO_3$ ويطلق هذا الاسم أيضاً على جميع المعادن التي تتميز بنفس البنية الجزيئية البلورية مثل أكسيد الكالسيوم تيتانيوم. تم اكتشاف هذا المعدن لأول مرة في جبال الأورال الروسية وسميت باسم المنقب عن المعادن ليف بيروفسكايت ويتواجد هذا المعدن في طبقة الوشاح من الكرة الأرضية ولكن استخراجها صعب جداً لأن الوصول إليه يتطلب الوصول إلى أعماق كبيرة في باطن الأرض ولكن يمكن الحصول على البروفسكايت مخبرياً، حيث يمكن القول إن الصيغة العامة للبروفسكايت ABX_3 ، حيث A و B هما أيونان موجبان ويكون A أكبر من B بينما X فهو أيون سالب يكون غالباً من الهاليدات أو الأكاسيد ويقوم بالربط بين المركبين السابقين. تعرف الهاليدات على أنها المركبات الحاوية على أحد هذه العناصر (فلور F، بروم Br، كلور Cl، يود I، أساستين At)، كما يتميز البروفسكايت بكفاءة عالية على امتصاص الإشعاع الشمسي، مدى الانتشار للشحنات كبير، وانخفاض طاقة السوية الالكترونية، وقيمة كبيرة لثابت العزل. [74].



الشكل (II-12): الخلية الشمسية البروفسكايت [48]

• الصيغة الكيميائية للبروفسكايت: ABX_3 [75]

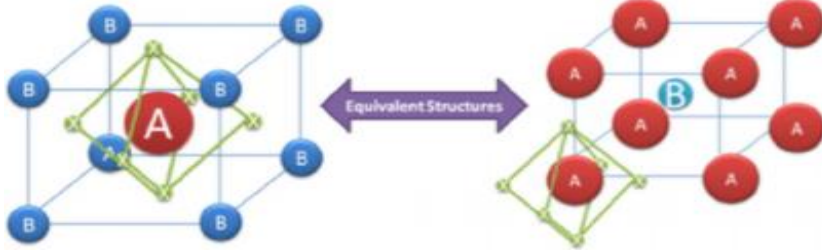
A = أيون موجب غير عضوي كبير، يُستعمل غالباً الرصاص (+2) أو القصدير.

B = مادة عضوية موجبة الشحنة، ميثيل أمونيوم.

X = هالوجين سالب الشحنة مثل الكلور أو اليود.

• البنية البلورية للبيروفسكايت:

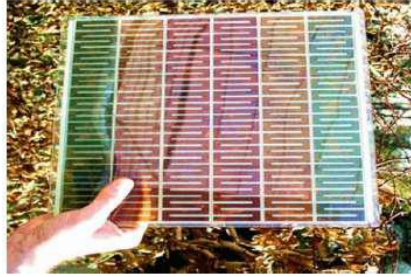
الشكل البلوري لمواد بيروفسكايت يمكن تمثيله على أنه جزيء كبيرٌ موجب الشحنة من النوع "A" في منتصف مكعبٍ وحواف هذا المكعب تحتوي على نوع آخر "B" من الجزيئات الموجبة وأوجه المكعب تتكون من جزيئات سالبة الشحنة من النوع "X" [75].



الشكل (II-13): البنية البلورية للخلية بيروفسكايت [64]

2-3-12-II خلايا شمسية صبغية :

وتسمى أيضا باسم مخترعها GRAZEL CELLS، هي مصنوعة من مواد منخفضة التكلفة وسهلة التصنيع، هذه الخلايا يتم غمس حبيبات نانوية شفافة (غير معتمة) عالية المسامية من ثاني أكسيد التيتانيوم بمركب مادة عضوية، غالبا ما تكون لمركب عضوي من مركبات عنصر الروثينيوم (RUTHENIUM) فتتسرب جزيئات الطلاء العضوي على الأسطح الخارجية لحبيبات أكسيد التيتانيوم التي تغمر داخل محلول الكتروليتي يوضع بالخلية [10].



الشكل (II-14) : خلية الشمسية صبغية [10]

13-II ايجابيات و سلبيات الخلايا الشمسية :

الجدول (2.II): ايجابيات وسلبيات الخلايا الشمسية [78-77-76]

السلبيات	الإيجابيات
<p>انخفاض كفاءة التحويل بمرور الوقت. لا بد من توفير مساحات شاسعة. لا يمكن إنتاج الطاقة في الليل. العوامل المناخية (رياح، أمطار...) تؤثر على كفاءة الخلية. إنتاج الطاقة تكون قيمته متفاوتة من يوم إلى آخر نظرا لتغيرات الطقس. تصنيع الخلايا الشمسية هي تقنية عالية مما يجعل التكلفة مرتفعة جدا.</p>	<p>تعمل بشكل موثوق دون إشراف لفترات طويلة. يمكن استغلال الطاقة الكهروضوئية في الجبال، في قرية نائية، ووسط مدينة كبيرة. تتميز الخلايا الكهروضوئية بخصائص بيئية فهي متجددة وغير ملوثة ولا تصدر فوضى. يتم التخلص من تكاليف نقل الوقود الأحفوري ومخاطره البيئية. عمر الألواح الشمسية طويل جدا (مدة 25 عاما).</p>

الفصل الثالث:

محاكاة الخلية الشمسية (perovskite)

باستعمال برنامج SCAPS

1-III مقدمة :

في هذا الفصل سنتعرف على المعادلات الأساسية المتعلقة بمحاكاة الخلايا الشمسية ونستعرض البرنامج المحاكي للخلية الشمسية من نوع بيروفسكايت (perovskite) ومعروف باسم SCAPS، حيث تم تطوير هذا البرنامج بشكل أساسي لنمذجة الطاقة الشمسية ومعالجة الخلية الشمسية ومعرفة مكوناته وطريقة عمله وكذا الخطوات العملية المستخدمة في عملية المحاكاة لهذا البرنامج معرفة مكونات والثوابت الفيزيائية المستعملة في كل طبقة، وفي الأخير سنقوم بتحليل النتائج المتحصل عليها من برنامج SCAPS.

2-III المعادلات الأساسية المتعلقة بمحاكاة الخلية الشمسية :

ترتكز المحاكاة العددية للخلايا الشمسية على حل جملة معادلات الرياضياتية متعلقة بالكمون الكهروستاتيكي وكثافة حاملات الشحنة، والتي تلخص أهم ظواهر الفيزيائية التي تحدث داخل الخلية الشمسية.

1-2-III معادلة بواسون :

تمثل لنا ظواهر الكهروستاتيكية التي تحدث داخل الخلية الشمسية ويمكن تعبير عليها رياضيا بمعادلة [79]

(1-III):

$$\nabla\psi(x, t) = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon_r} (p(x, t) - n(x, t) + N_D^+ - N_D^- + \rho_t(x, t)) \quad (1 - III)$$

حيث:

ψ : يمثل الحقل الكهرو الساكن، $\epsilon_0 \epsilon_r$: يمثل كل من السماحية النسبية وفي الفراغ على التوالي،

q : الشحنة العنصرية، n, p : تمثل كل من كثافة إلكترونات و الثقوب على التوالي، N_D^+, N_D^- : تمثل تركيز الأيونات

المانحة و المستقبلية، ρ_t : تمثل الفرق بين الشحن n, p

2-2-III معادلة الاستمرارية :

تعبير معادلات الاستمرارية عن حالة كل من الإلكترونات والثقوب إما يتم نقلها أو تتراكم، كما يمكن أن تتولد أو

تتلاشى وفقا للمعادلات التالية [80]

• في حالة الإلكترونات:

$$\frac{1}{q} \nabla_j n(x, t) = Rn(x, t) + \frac{dn(x, t)}{dt} - Gn(x, t) \quad (2 - III)$$

• في حالة الثقوب:

$$\frac{1}{q} \nabla_j p(x, t) = Rp(x, t) + \frac{dp(x, t)}{dt} - Gp(x, t) \quad (3 - III)$$

حيث: R: يمثل معدل الالتحاق إلكترون-ثقب، G يمثل التوليد.

3-III تعريف SCAPS :

يعرف SCAPS-1D (محاكي بعد واحد للخلية الشمسية) يعمل تحت نظام تشغيل Windows وهو برنامج مجاني متاح لجميع البحوث الخاصة بالكهروضوئية، يتم استخدامه لمحاكاة السعة الشمسية الخلوية لمحاكاة الخصائص ذات الأغشية الرقيقة مثل CdTe و الخلايا الشمسية البلورية و الغير بلورية و كذا الخلايا العضوية مثل الخلية

الشمسية بيروفسكايت (perovskite) التي سنقوم بمحاكاتها بواسطة هذا البرنامج، تم تطويره في قسم إلكترونيات و نظم المعلومات في جامعة جنت بلجيكا، يتم استخدامه للتحليل العددي للخلايا الشمسية الأداء و الخصائص . قياسات متعددة لإعدادات إخراج الخلايا الشمسية يمكن القيام به من خلال SCAPS، كما يمكن محاكاة جهد الدائرة المفتوحة (VOC)، و كثافة التيار الدائرة القصيرة (ICC)، و الخاصية جهد-تيار (I-V) معامل الشكل (FF)، و كفاءة التحويل (□)، مردود الكمي (QE)، (التوليد، إلتحام ... الخ، و من بين الباحثين الذين ساهموا في تطوير هذا البرنامج نذكر منهم : أليكس نيمي جيس، مارك بورجل مان، كوين ديوكوك، ستيفان ديغريف، إذ انه يحتوي على قاعدة بيانات تحتوي على عدة أنواع خلايا شمسية بيها معلمات يمكننا تغيير فيها على سبيل مثال $V_{thp}, V_{thn}, \mu_n, \mu_p, \epsilon, \chi, N_c$.

4-III تعريف الخلية الشمسية :

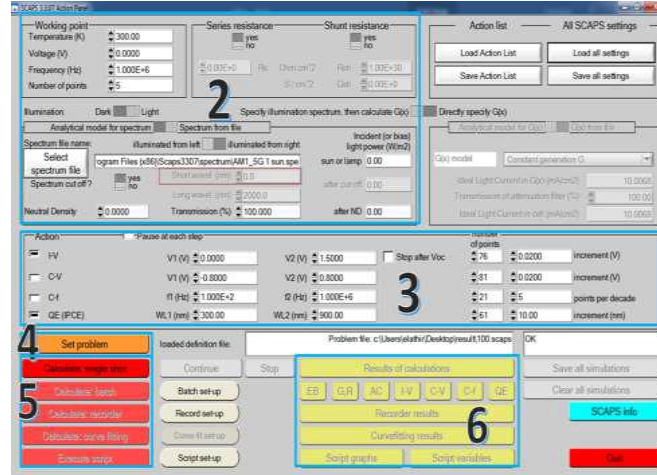
يمكن إدخال خلية شمسية باستخدام واجهة المستخدم الرسومية للبرنامج. من خلال ذلك، يمكننا إدخال جميع المعلمات التي ستتم مراقبتها بواسطة SCAPS-1D لضمان عدم الحصول على قيم غير صالحة أو غير متناسقة.

5-III طريقة استخدام برنامج SCAPS:



الشكل (1-III): أيقونة برنامج SCAPS

انقر فوق الرمز أعلاه على سطح المكتب كما مبين في الشكل (1-III)، أو انقر نقرا مزدوجا فوق الملف 3.3.10 SCAPS في مدير الملفات أو أي إصدار آخر يفتح SCAPS بلوحة الإجراءات. هناك لوحات مخصصة للإجراءات الأساسية تتمثل في الشكل (2-III):



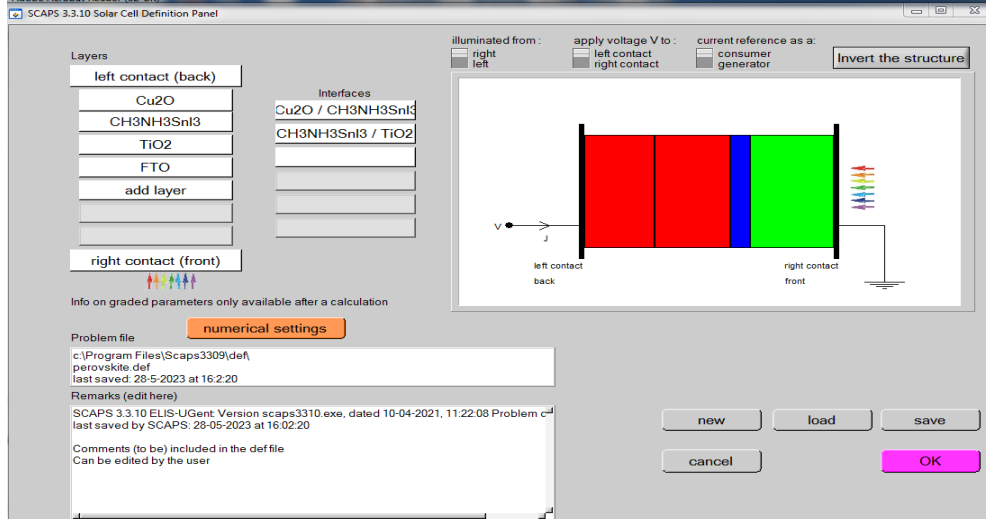
الشكل (2-III): الواجهة الأساسية لبرنامج SCAPS

1. تشغيل SCAPS.
2. تحديد المشكلة والهندسة والمواد وكافة خصائص الخلية الشمسية قيد الدراسة.
3. توضيح الظروف التي يتم إجراء المحاكاة فيها (حدد نقطة التشغيل).
4. أشر إلى القياس المراد (المميز) محاكاته.
5. أبدأ العملية الحسابية.

6. اعرض منحنيات المحاكاة.

III-5-1 تحديد نوع المشكلة (Set problem) :

عند النقر على زر تحديد نوع المشكل (set problem) العنصر رقم 4 من الشكل III-2 مباشرة سيأخذك البرنامج إلى النافذة الأساسية الثانية المتعلقة بشكل الخلية و عدد الطبقات و الخواص الفيزيائية لكل طبقة كما هو موضح في الشكل (III-3) التالي :

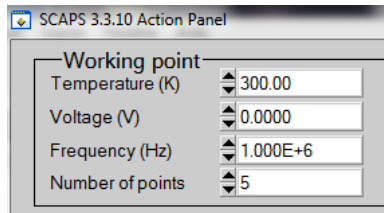


الشكل (III-3): نافذة مكونات الخلية الشمسية

يكمل دور هذه النافذة في تحديد نوع ومادة كل طبقة التي تكون الخلية الشمسية بالإضافة إلى إدخال كل الخواص الضوئية والكهربائية لكل طبقة على حدي، بعد هذه العملية مباشرة نقوم بحفظ كل الإعدادات السابقة ثم نرجع إلى نافذة العمل الأساسية.

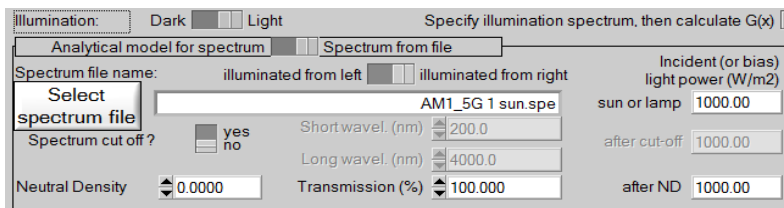
III-5-2 الوسائط الخارجية المتعلقة بالخلية الشمسية :

نقوم بعدها بتحديد بعض الوسائط الخارجية المتعلقة بعمل الخلية الشمسية كتثبيت درجة الحرارة الخارجية فرق الكمون (V)، التردد (F(Hz))، وعدد النقاط التكرارية المستعملة في الحساب كما يظهر في الشكل (III-4):



الشكل (III-4): الوسائط الخارجية لعمل الخلية الشمسية

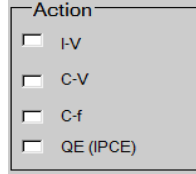
III-5-3 الإضاءة :



الشكل (III-5): يمثل معلمات الإضاءة

III-5-4 تحديد القياس المراد محاكاته :

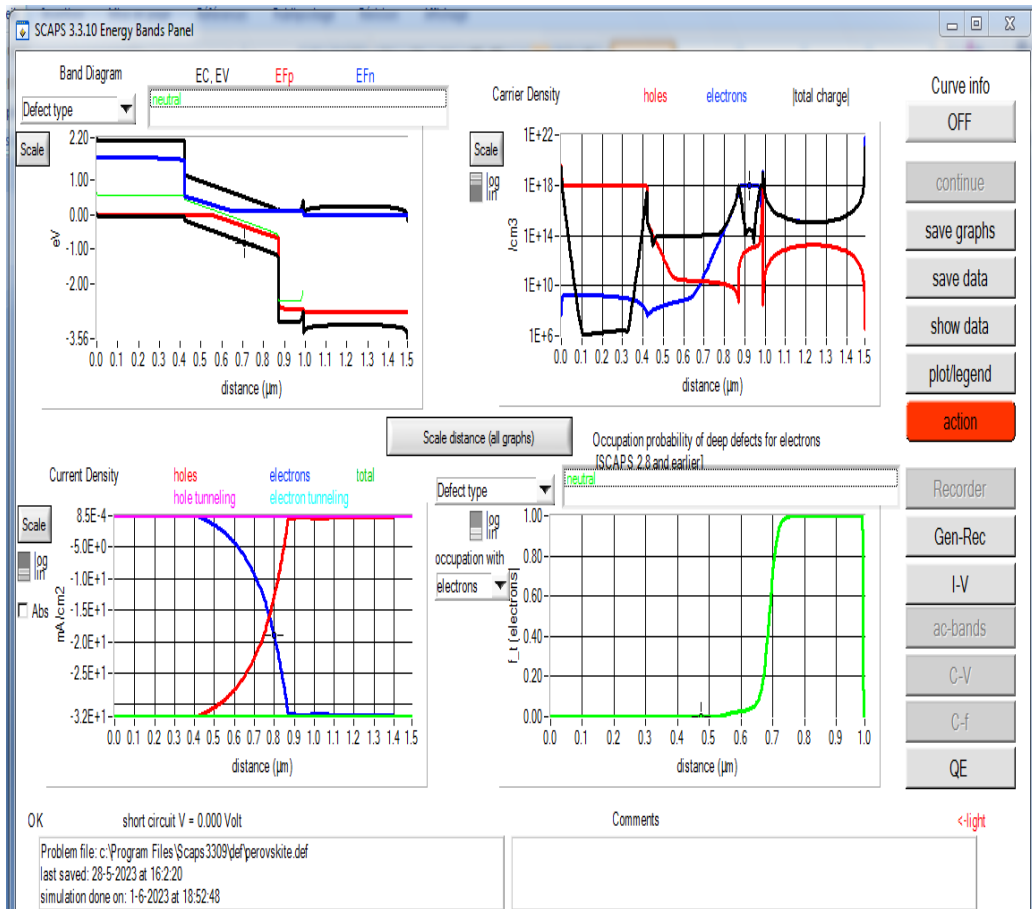
عند انتهاء من تحديد الوسائط الخارجية لعمل الخلية، نذهب إلى نافذة تحديد القياس المراد محاكاته، أين نجد الخواص المراد دراستها، كمنحنى تيار- جهد، جهد- مكثفة، تردد- مكثفة، المرود الكمي، كما هو موضح في الشكل (III-6).



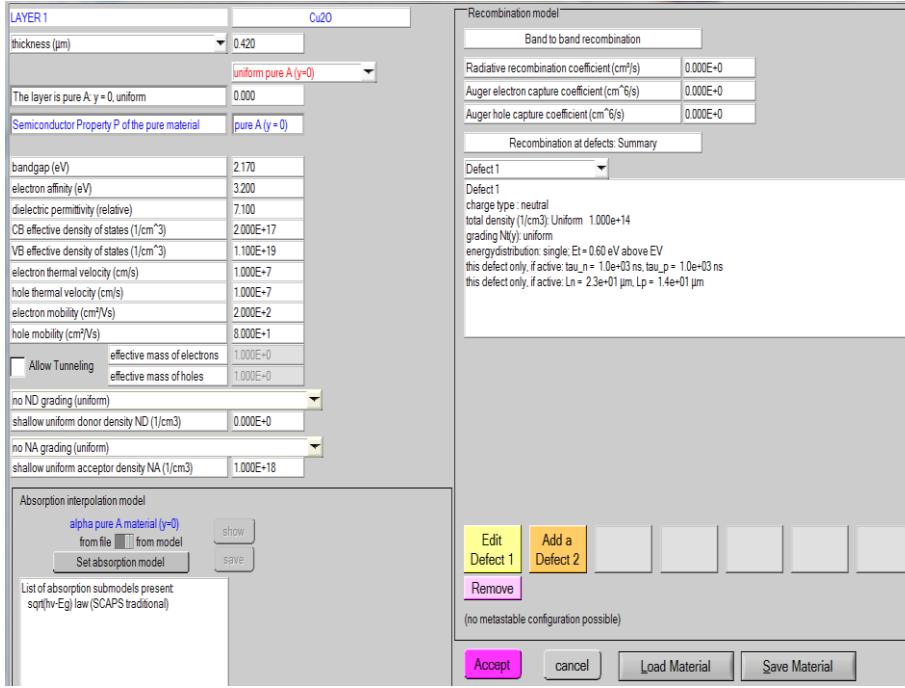
الشكل (III-6): مخرجات الخلية الشمسية

III-5-5 المنحنيات التي تم محاكاتها :

بعد انتهاء من عملية السابقة نضغط على زر الحساب حيث يبدأ البرنامج في العمل وعند الانتهاء من الحساب تظهر النتائج على شكل منحنيات في نافذة نتائج كما هو مبين في الشكل (III-7):



الشكل (III-7): لوحة منحنيات ونتائج

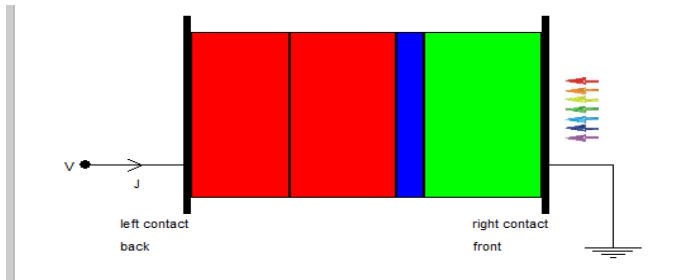


الشكل (8-III): تعبئة معلمات الطبقات المختلفة في خلية الطاقة الشمسية

6-III تحليل نتائج و مناقشتها :

1-6-III وصف بنية خلية شمسية perovskite :

تتكون من مادة موصلية شفافة توضع على طبقة من الزجاج وتصنع المادة الموصلة من fluorine doped tin oxide (FTO)، ونضع فوقها طبقة من أكسيد التيتانيوم Titanium Dioxide TiO_2 وهي طبقة نصف ناقلة نوع n تقوم بتحرير الإلكترونات وتشكل هذه الطبقات مصعد الخلية الشمسية، ويوضع فوق هذه الطبقة طبقة من البروفسكايت وهي الطبقة التي تقوم بامتصاص الإشعاع الشمسي وتحويله إلى طاقة كهربائية ومنها تتحرر الإلكترونات والثقوب حيث تنتقل الإلكترونات إلى طبقة المصعد بينما الثقوب إلى طبقة المهبط. نضع فوق طبقة البروفسكايت طبقة ذات جزيئات صغيرة Spiro-OmeTAD وهي طبقة نصف ناقلة نوع p تقوم بتحرير الثقوب. في النهاية توضع طبقة من خطوط الذهب تعمل كموصلات للمهبط [76].



الشكل (9-III): بنية الخلية الشمسية من نوع perovskite

FTO : أكسيد القصدير المشبع بالفلوريت.

$CH_3NH_3SnI_3$: الستانيوم اليوديد.

TiO_2 : أكسيد التيتانيوم.

Cu_2O : أكسيد النحاس الأحادي

III-6-2 تحديد الثوابت و الشروط الأولية لمحاكاة الخلية الشمسية من نوع (Perovskite) :

قمنا بتحديد كل الثوابت الفيزيائية المتعلقة بكل طبقة التي تكون الخلية الشمسية وهي موضحة في III-3 تحديد

جدول التالي:

الجدول (III.3): الثوابت الفيزيائية المستعملة لمحاكاة الخلية الشمسية من نوع Perovskite

Parametre	Cu_2O	$CH_3NH_3SnI_3$	TiO_2	FTO
Thickness/nm	0.420	0.450	0.120	0.500
Band gap energy E_g/ev	2.170	1.300	3.200	3.400
Electron affinity χ/ev	3.200	4.170	4.100	4.500
Relative permittivity $\epsilon\epsilon_r$	7.100	8.200	9.000	9.100
Effective conduction band density N_c/cm^{-3}	2.00 E+17	1.000 E +18	2.200 E+18	1.100 E+19
Effective valence band density N_v/cm^{-3}	1.100 E+19	1.000 E+18	1.800 E+19	1.100 E+19
Electron mobility $\mu_n/cm^2/V. s$	2.000 E+2	2.000 E+3	5.000 E-2	2.000E+1
Hole mobility $\mu_p/cm^2/V. s$	8.00E+1	3.000 E +2	5.000 E-2	1.000E+1
Donor concentration N_D/cm^{-3}	0.000E+0	0.000 E+0	1.000 E+18	1.000E+15
Acceptor concentration N_A/cm^{-3}	1.000E+18	1.000 E+14	1.000 E +0	1.000E+15

III-6-3 دراسة تأثير سمك أكسيد نحاس احادي على خواص تيار- جهد في الخلية الشمسية :

سوف نعتمد في هذا العمل على دراسة تأثير السمك و تركيز أكسيد نحاس أحادي و تيتانيوم على الخواص

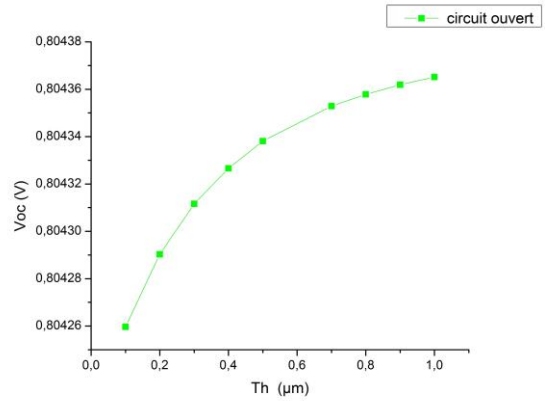
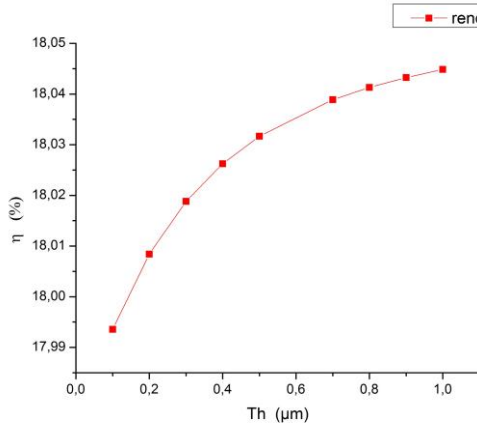
تيار - جهد، حيث سنقوم بتغيير السمك من $0.1 \mu m$ إلى $1 \mu m$ و تثبيت بقية الوسائط فتحصلنا على الجدول التالي :

الجدول (III.5): تأثير سمك (Cu_2O) على خواص تيار - جهد في الخلية الشمسية

Th (μm)	\square (%)	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)
1.00000000e-01	1.79935659e+01	8.04259694e-01	3.18867948e+01	7.01633074e+01
2.00000000e-01	1.80084215e+01	8.04290252e-01	3.19126997e+01	7.01615676e+01
3.00000000e-01	1.80188081e+01	8.04311593e-01	3.19308077e+01	7.01603608e+01
4.00000000e-01	1.80262376e+01	8.04326591e-01	3.19437677e+01	7.01595046e+01
5.00000000e-01	1.80316789e+01	8.04338063e-01	3.19532602e+01	7.01588326e+01
5.00000000e-01	1.80316786e+01	8.04338075e-01	3.19532603e+01	7.01588305e+01
7.00000000e-01	1.80388725e+01	8.04352863e-01	3.19658168e+01	7.01579610e+01
8.00000000e-01	1.80413106e+01	8.04357858e-01	3.19700744e+01	7.01576629e+01
9.00000000e-01	1.80432534e+01	8.04361867e-01	3.19734701e+01	7.01574167e+01
1.00000000e+00	1.80448321e+01	8.04365126e-01	3.19762300e+01	7.01572151e+01

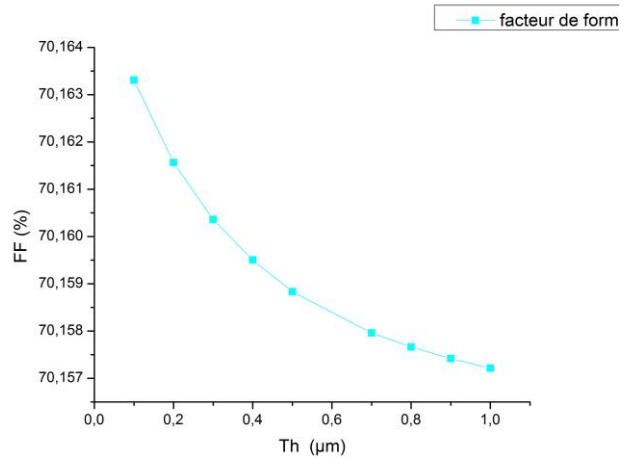
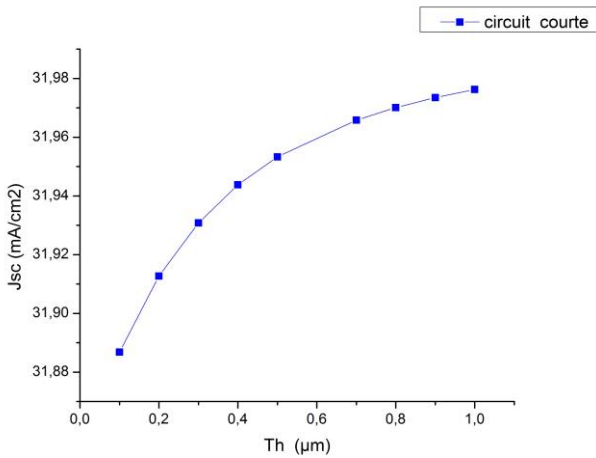
من خلال معطيات الجدول (5-III) تحصلنا على نتائج تأثير سمك أكسيد نحاس أحادي (Cu_2O) على خواص تيار – جهد باستخدام برنامج SCAPS في شكل منحنيات :

من خلال معطيات الجدول السابق تحصلنا على نتائج سمك أكسيد نحاس أحادي على خواص تيار – جهد في شكل منحنيات :



منحنى (02): مردود η بدلالة السمك Cu_2O

منحنى (01): جهد الدارة المفتوحة V_{OC} بدلالة السمك Cu_2O



منحنى (04): تيار الدارة القصيرة J_{sc} بدلالة سمك Cu_2O

منحنى (03): معامل الشكل FF بدلالة السمك Cu_2O

بعد إجراء المحاكاة والقيام بدراسة خصائص منحنى جهد – تيار (V_{OC} , FF, I_{CC}) بدلالة السمك Cu_2O تحصلنا على النتائج الموضحة في منحنيات أعلاه، حيث لاحظنا زيادة تدريجيا في كل من منحنى (1 و2 و4) مردود وجهد الدارة المفتوحة وتيار الدارة القصيرة بدلالة سمك عند قيمة $1 \times 10^{-1} \mu m$ متر إلى غاية القيمة الأعظمية $10 \mu m$ متر، حيث بلغت قيمة أعظمية كل من η (18.044%) و I_{CC} (31.980 mA/cm2) و V_{OC} (8.043V) على ترتيب، أما بالنسبة للمنحنى (3) لمعامل الشكل FF نلاحظ تناقص تدريجيا إلى غاية قيمة دنيا (70.163%) في نسبته كلما زاد السمك.

III-6-4 دراسة تأثير تركيز Cu_2O على خواص تيار – جهد في خلية الشمسية:

بعد قيامنا بتغيير تركيز أكسيد نحاس أحادي من $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ إلى $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ وتثبيت بقية الوسائط الخارجية

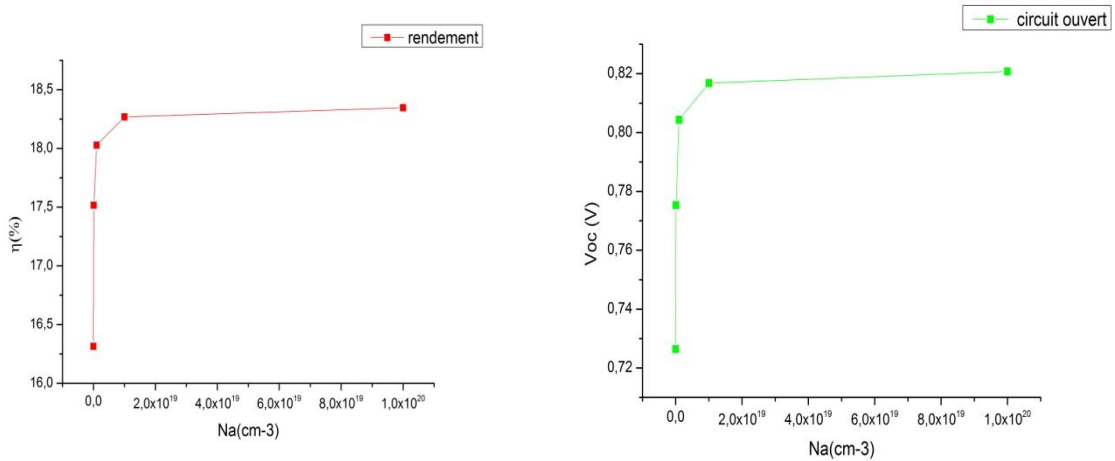
فحصلنا على نتائج المدونة في الجدول (III-6) أدناه باستخدام برنامج SCAPS:

الجدول (III.6): تأثير تركيز Cu_2O على خواص تيار – جهد في خلية الشمسية

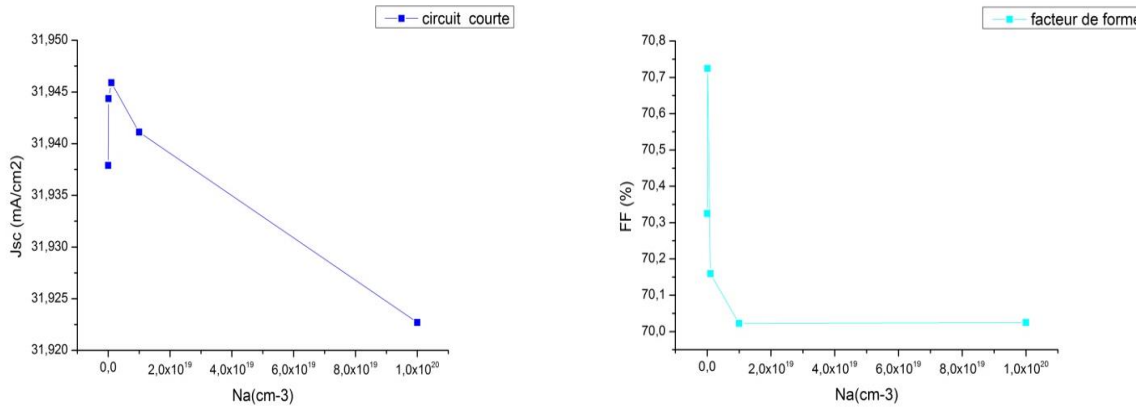
Na(cm^{-3})	η (%)	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)
1.00000000e+16	1.63152357e+01	7.26404935e-01	3.19378900e+01	7.03247719e+01
1.00000000e+17	1.75159012e+01	7.75301498e-01	3.19443520e+01	7.07241549e+01
1.00000000e+18	1.80274611e+01	8.04329407e-01	3.19459021e+01	7.01593328e+01
1.00000000e+19	1.82681307e+01	8.16784047e-01	3.19411079e+01	7.00223811e+01
1.00000000e+20	1.83469634e+01	8.20752229e-01	3.19227023e+01	7.00248944e+01

من خلال معطيات الجدول السابق تحصلنا على نتائج تركيز أكسيد نحاس أحادي على خواص تيار – جهد في شكل

منحنيات باستخدام برنامج SCAPS:



منحنى (05): جهد الدارة المفتوحة VOC بدلالة تركيز Cu_2O منحنى (06): مردود η بدلالة تركيز Cu_2O



منحنى (08): تيار الدارة القصيرة بدلالة تركيز Cu_2O

منحنى (07): معامل الشكل FF بدلالة تركيز Cu_2O

تظهر منحنيات (5.6.7.8) تغيرات كل من تيار الدارة القصيرة جهد الدارة المفتوحة و مردود و معامل الشكل في طبقة امتصاص Cu_2O ، وهذا بعد تغير التركيز أكسيد النحاس الأحادي في كل مرة من $1 \times 10^{-16} \text{cm}^{-3}$ إلى $10 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ ، حيث لاحظنا في بداية ثبوت تركيز Cu_2O أدى إلى زيادة سريعة عند كل من منحنى (5و6) جهد الدارة المفتوحة و مردود حيث بلغت قيمة $VOC=0.800v$ ، $\eta = 18\%$ بعدها لاحظنا زيادة طفيفة في تركيز Cu_2O بقيمة $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ أدت إلى زيادة كل من جهد الدارة المفتوحة و مردود ووصولهم إلى قيمتهم الأعظمية التي بلغت عند $VOC=0.820v$ ، $\eta = 18.34\%$ ، بعد ذلك ثبوت في جهد الدارة المفتوحة و مردود يقابله زيادة سريعة في تركيز Cu_2O التي بلغت قيمته العظمى $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$.

على عكس ذلك في منحنى (7) سجلنا تناقص سريع في معامل الشكل FF ابتداء من قيمة 70.73% إلى أن وصلت 70.15% في ثبوت تركيز $Cu_2O=1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ، بعد ذلك نلاحظ زيادة طفيفة في تركيز Cu_2O قدرت ب $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ، يقابله نقصان طفيف في معامل الشكل FF إلى أن وصل إلى اقل قيمة 70.03% بعد ذلك ثبوت نسبة معامل الشكل FF عند قيمة 70.03% كلما ازداد تركيز Cu_2O إلى غاية $10 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$.

لاحظنا زيادة كبيرة في منحنى (8) تيار الدارة القصيرة بقيمة أعظمية 31.946 mA/cm^2 في ثبوت تركيز طبقة التيتانيوم بقيمة $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ، بعد ذلك سجلنا تناقص تدريجي في تيار الدارة القصيرة إلى غاية 31.943 mA/cm^2 مع زيادة طفيفة في تركيز Cu_2O ، بعد ذلك نلاحظ تناقص سريع في تيار الدارة القصيرة إلى غاية 31.923 mA/cm^2 كلما زاد تركيز $Cu_2O=10 \times 10^{20} \text{ mA/cm}^2$.

III-6-5 دراسة تأثير سمك TiO_2 على خواص تيار - جهد في خلية الشمسية:

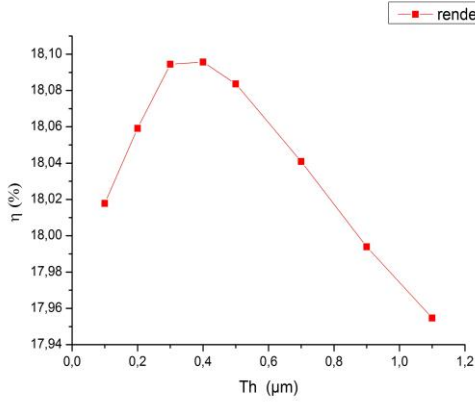
بعد قيامنا بتغيير سمك تيتانيوم من $0.1 \mu\text{m}$ إلى $11 \mu\text{m}$ و تثبيت بقية الوسائط الخارجية فتحصلنا على نتائج المدونة في الجدول (III-7) ادناه باستعمال برنامج SCAPS:

الجدول (III.7): تأثير سمك TiO_2 على خواص تيار - جهد في خلية الشمسية

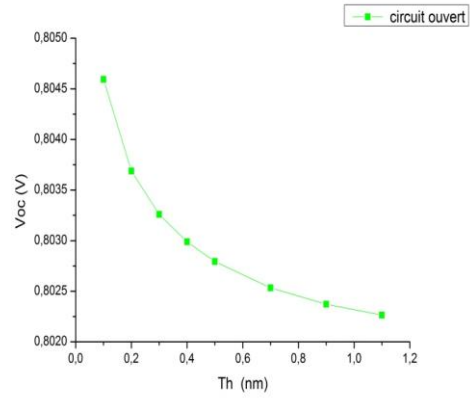
Th (μm)	η (%)	Voc (V)	Jsc (mA/cm^2)	FF (%)
1.00000000e-01	1.80178489e+01	8.04593535e-01	3.19640741e+01	7.00590527e+01
2.00000000e-01	1.80591705e+01	8.03688891e-01	3.18756742e+01	7.04937218e+01
3.00000000e-01	1.80944730e+01	8.03259351e-01	3.17878969e+01	7.08644366e+01
4.00000000e-01	1.80956455e+01	8.02987880e-01	3.17012896e+01	7.10866662e+01
5.00000000e-01	1.80836687e+01	8.02794275e-01	3.16194669e+01	7.12406246e+01
7.00000000e-01	1.80408332e+01	8.02534191e-01	3.14793277e+01	7.14114061e+01
9.00000000e-01	1.79939135e+01	8.02371774e-01	3.13731013e+01	7.14813128e+01
1.10000000e+00	1.79547206e+01	8.02264354e-01	3.12960092e+01	7.15108897e+01

من خلال معطيات الجدول السابق تحصلنا على نتائج تأثير سمك تيتانيوم TiO_2 على خواص تيار - جهد باستعمال برنامج

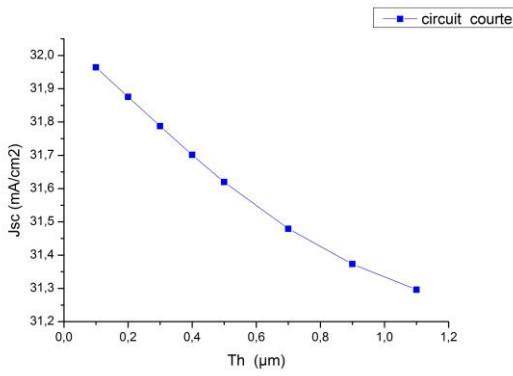
SCAPS في شكل منحنيات :



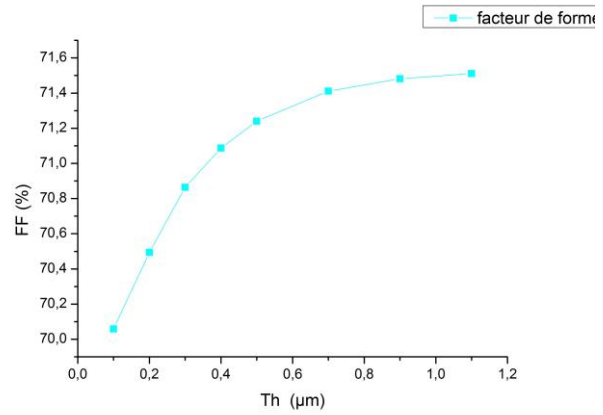
منحنى (10): مردود η بدلالة السمك TiO_2



منحنى (09): جهد الدارة المفتوحة V_{OC} بدلالة السمك TiO_2



منحنى (12): تيار الدارة القصيرة J_{sc} بدلالة سمك TiO_2



منحنى (11): معامل الشكل FF بدلالة السمك TiO_2

سجلنا زيادة في منحنى (9) مردود تيتانيوم إلى أن وصلت إلى قيمة العظمى 18.09% عند السمك $3 \times 10^{-3} \mu m$ ، بعد ذلك لاحظنا المردود بدأ يتناقص كلما زاد سمك طبقة التيتانيوم إلى أصبح سمك طبقة $11 \mu m$ وأصبح المردود 17.95%.

بينما لاحظنا في منحنى (10) جهد تيار الدارة المفتوحة في بداية كانت عند ذروة $8.045 \times 10^{-1} v$ عند سمك 0.1 μm بعد ذلك سجلنا تناقص سريع في جهد دار المفتوحة كلما زاد سمك طبقة التيتانيوم إلى أن وصل سمكه $11 \mu m$ أصبحت قيمة جهد تيار الدارة المفتوحة $8.022 \times 10^{-1} v$.

سجلنا زيادة تدريجيا في منحنى (11) معامل الشكل FF كلما زاد سمك طبقة التيتانيوم إلى أن وصلت قيمته 71.51% عند سمك $11 \mu m$ ، على عكس ذلك لاحظنا في منحنى (12) تيار الدارة القصيرة تناقص تدريجي كلما أزداد سمك طبقة التيتانيوم ابتداء من قيمة الأعظمية 31.96 mA/cm^2 عند سمك $1 \times 10^{-1} \mu m$ إلى غاية 31.30 mA/cm^2 عند سمك $11 \mu m$.

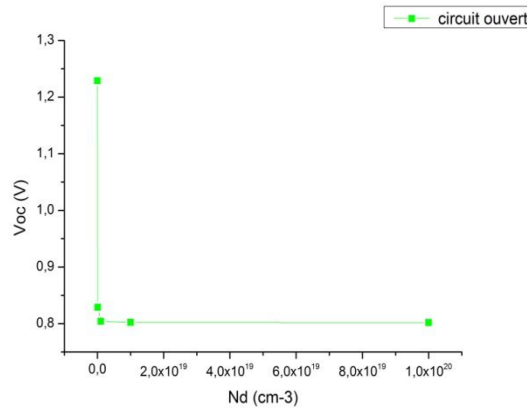
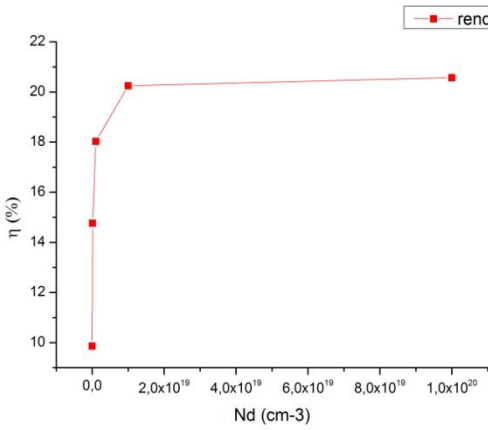
III-6-6 تأثير تركيز TiO_2 على خواص تيار - جهد في خلية الشمسية:

بعد قيامنا بتغيير تركيز تيتانيوم من $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ إلى $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ وثبتت بقية الوسائط الخارجية فتحصلنا على نتائج المدونة في الجدول (8-III) باستخدام برنامج SCAPS:

الجدول (8.III): تأثير تركيز TiO_2 على خواص تيار - جهد في خلية الشمسية

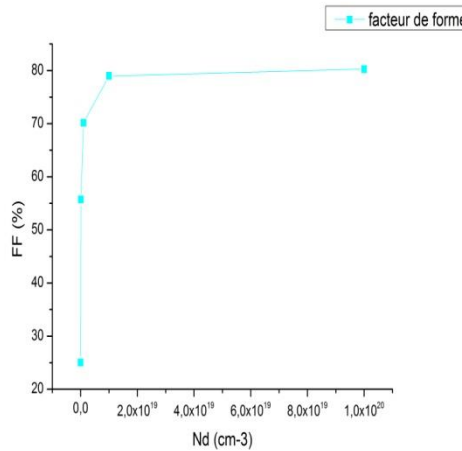
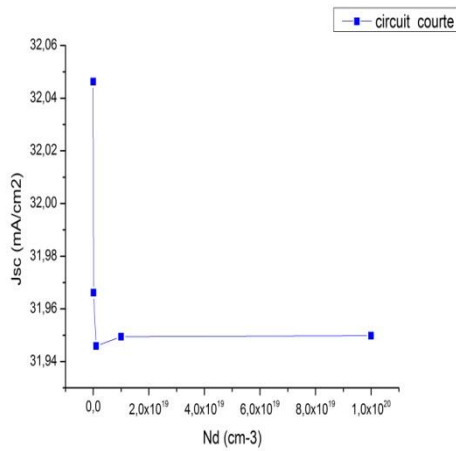
$N_d \text{ (cm}^{-3}\text{)}$	$\eta \text{ (%)}$	$V_{oc} \text{ (V)}$	$J_{sc} \text{ (mA/cm}^2\text{)}$	$FF \text{ (%)}$
$1.00000000e+16$	$9.85879078e+00$	$1.22895191e+00$	$3.20462621e+01$	$2.50329118e+01$
$1.00000000e+17$	$1.47683715e+01$	$8.29122277e-01$	$3.19661596e+01$	$5.57215962e+01$
$1.00000000e+18$	$1.80274614e+01$	$8.04329414e-01$	$3.19459021e+01$	$7.01593335e+01$
$1.00000000e+19$	$2.02446464e+01$	$8.02269742e-01$	$3.19494156e+01$	$7.89817680e+01$
$1.00000000e+20$	$2.05699017e+01$	$8.02108782e-01$	$3.19498097e+01$	$8.02658215e+01$

من خلال النتائج الجدول تركيز تيتانيوم المتحصل عليها من برنامج SCAPS تمكنا من رسم المنحنيات التالية :



منحنى (13): جهد الدارة المفتوحة V_{OC} بدلالة تركيز TiO_2

منحنى (14): مردود η بدلالة تركيز TiO_2



منحنى (15): معامل الشكل FF بدلالة تركيز TiO_2 منحنى (16): تيار الدارة القصيرة بدلالة تركيز TiO_2

نلاحظ زيادة سريعة عند كل من منحني (14 و15) المردود ومعامل الشكل بقيمة $\eta=18\%$ ، $FF=70\%$ بثبوت تركيز في تيتانيوم عند قيمه $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ بعد ذلك زيادة تركيز في طبقة تيتانيوم $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ أدت إلى زيادة في كل من المردود ومعامل الشكل بقيمة أعظمية $\eta=20\%$ و $FF=80\%$ ، ومن ثم نسجل ثبات عند القيمة الأعظمية كلما زاده تركيز في طبقة تيتانيوم.

على عكس ذلك بالنسبة للمنحنيين (12 و13) جهد الدارة المفتوحة V_{OC} و تيار دارة القصيرة I_{CC} نلاحظ تناقص سريع بالنسبة V_{OC} و I_{CC} ، حيث V_{OC} : من 1.228 v إلى $8 \times 10^{-1} \text{v}$ و I_{CC} : من 0.532 mA/cm^2 إلى 31.945 mA/cm^2 في ثبوت تركيز في طبقة تيتانيوم عند $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ، بعد ذلك سجلنا ثبوت في جهد الدارة المفتوحة عند $8 \times 10^{-1} \text{v}$ كلما زاده تركيز في تيتانيوم، في حين سجلنا زيادة طفيفة في تركيز أدى إلى زيادة طفيفة في قيمة تيار دارة القصيرة $I_{CC}=31.950 \text{ mA/cm}^2$ ، ومن ثم نسجل ثبوت في تيار الدارة القصيرة كلما زاده تركيز في طبقة تيتانيوم.

7-III الخاتمة:

نستنتج من خلال هذا الفصل بعد المحاكاة خلية الشمسية بيروفسكايت باستعمال برنامج SCAPS أن كلما زاده سمك طبقة أكسيد نحاس أحادي زاد مردود والعكس بالنسبة لتركيز كلما ازداد تركيز نقص مردود أكسيد نحاس أحادي أما بالنسبة لتيتانيوم كلما زاده سمكها نقص مردود وعكس ذلك كلما زاد تركيز زاد المردود .

الخاتمة العامة

في هذا العمل، اعتمدنا على دراسة وتحليل استخدام خلايا الشمسية البروفسكايت وتحسين أدائها من خلال تعديل تركيبها، تعتبر خلايا الشمسية البروفسكايت نوعًا مبتكرًا من الخلايا الشمسية، حيث تتكون من طبقات متعددة تحتوي على مركب البروفسكايت، ولتحقيق أقصى كفاءة في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، يجب تحسين خصائص هذه الخلايا ومكوناتها.

تحقيق أعلى مردود للخلايا الشمسية البروفسكايت، يتطلب تحسين عوامل مثل توصيل الشحنات الكهربائية وانتقال الضوء والحد من فقد الطاقة، تأثير الطبقات المختلفة في تكوين الخلية وترتيبها، يمكن أن يؤثر بشكل كبير على هذه العوامل.

أحد المشاكل التي واجهتها الدراسات السابقة، هو استخدام المواد مثل الجرمانيوم والقصدير في الخلايا الشمسية البروفسكايت، فقد تبين أن هذه المواد تعاني من بعض العيوب التي تؤثر على أداء الخلية، مثل الأكسدة السريعة وعدم الاستقرار وضعف الكفاءة في درجات الحرارة المرتفعة، وبالتالي أصبح من الضروري البحث عن بدائل لهذه المواد لتحسين أداء الخلايا الشمسية.

في هذا السياق، قدمنا حلاً بديلاً يتمثل في استخدام أكسيد النحاس أحادي الذرة، كمادة تعويضية يتميز أكسيد النحاس أحادي الذرة، بخصائص فريدة تجعله مرشحاً جيداً لتحسين أداء الخلايا الشمسية البروفسكايت، على سبيل المثال عندما يتم زيادة سمك طبقة أكسيد النحاس أحادي الذرة، يزداد أداء الخلية الشمسية ويتحسن مردودها.

وبناءً على نتائج الدراسة، نعتقد أن استخدام أكسيد النحاس أحادي الذرة، يمكن أن يكون له تأثير كبير على أداء الخلايا الشمسية البروفسكايت، وبالتالي يجب أن يلقى اهتماماً كبيراً في الأبحاث والتطوير المستقبلية في هذا المجال.

باختصار، في هذا العمل قمنا بدراسة وتحسين أداء الخلايا الشمسية البروفسكايت من خلال تغيير تركيبها واستخدام أكسيد النحاس أحادي الذرة، بدلاً من المواد التقليدية، وتوصلنا إلى أن زيادة سمك طبقة أكسيد النحاس أحادي الذرة يمكن أن يحسن أداء الخلية الشمسية، وبالتالي نعتقد أن استخدام أكسيد النحاس أحادي الذرة قد يكون حلاً فعالاً ومثيراً للاهتمام في المستقبل.

المراجع

- [1] G, Adam. R, Modeling heterogeneous carbon nanotube networks for photovoltaic application using silvaco atlas software, Thesis Naval postgraduate school Monterey California. 2012.
- [2] M. C. Tamargo, II-VI Semiconductor Materials and their Applications, New York (2002)
- [3] CH. Huang, Effects of Ga content on Cu(In,Ga)Se₂ solar cells studied by numerical modeling studied by numerical modeling. Journal of Physics and Chemistry of Solids 2008;69 330–334.
- [4] R. Hull, VA Charlottesville, USA. ChennupatiJagadish, Canberra, ACT, Australia. Richard M. Osgood, New York, NY, USA. Ju'rgenParisi, Oldenburg, Germany. Zhiming M. Wang, Chengdu, P.R. China , HighEfficiency Solar Cells Physics, Materials, and Devices, Springer Series in Materials Science Volume 190.
- [5] Martin A.Green, "Silicon Solar Cell, Advanced Principles & Practice", Center for Photovoltaic Devices and Systems, University of New South Wales, Australia, (1995).
- [6] TG. Kopp and J. Lean, "A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance". Geophys. Res. Lett., L01706 (2011).
- [7] F. Piszczor1, M. O'Neill, M. Eskenazi and H. Brandhorst, " Stretched Lens Array (SLA) Photovoltaic Concentrator Hardware Development & Testing", *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Japan* (2003).
- [8] Y. Inomata, K. Fukui, K. Shirasawa, "Solar Energy Materials", Solar Cells, vol. 48, (1997).
- [9] Touilla Nacre Eddine et Ghenbazi Slimane- « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque » -Mémoire de Master –Université Echahide Hama Lakhder d'El-Oued- 2015.
- [10] د. كاميليا يوسف محمد- الطاقة الكهرو شمسية – الإسكندرية -2016.
- [11] الطاقة الشمسية (ج1)، مجلة العلوم والتقنية، العدد الرابع و الثلاثون، سبتمبر 1995.
- [12] V. Esen, Ş. Sağlam, and B. Oral, "Light sources of solar simulators for photovoltaic Energy Rev., vol. 77, pp. 1240–1250, 2017 devices: A review," Renew. Sustain.
- [13] انبيل شهيد 'حساب الإشعاع الشمسي الساعي بمساعدة الحاسوب _مجلة الطاقة و الحياة _ العدد23 سنة 2006.
- [14] محمد البار سوداني "تحقيق عملي لمركز شمسي اسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي "رسالة دكتوراه _جامعة قاصدي مرياح 2018.
- [15] <http://www.circuitstoday.com/the-story-of-pn-junction-diode>

- [16] J A Duffie, w a Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, edited by JohnWiley & Sons ,2013.
- [17] مذكرة بعنوان تأثير تظليل على الألواح الشمسية الكهروضوئية الصفحة 17.
- [18] مذكرة ماستر أكاديمي بعنوان "دراسة ومحاكاة لوح خلايا الشمسية" جامعة قاصدي مرياح سنة 2021
- [19] كتاب الطاقة الشمسية _ مجلة العلمية _ مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية _ سبتمبر 1995.
- [20] علي تاجي حمودي _ " دراسة و تنفيذ و تحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية " _ أطروحة نيل شهادة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية جامعة تشرين 2009/2008
- [21] صورة مأخوذة من المستودع الرقمي لجامعة الوادي .
- [22] أولاد سالم حليلة " تقدير الإشعاع الشمسي في منطقة ورقلة وتأثير طرق التتبع الشمسي وزوايا اللاقط على شدة الإشعاع _ مذكرة ماستر أكاديمي _ جامعة قاصدي مرياح ورقلة 2018.
- [23] Rahmani Djalloul, Analyse d'un système de concentration solaire Pour La Production d'hydrogène (cas de l'Algerie), Mémoire Magister , Université Hassiba Benbouali-Chlef,2011-2012.
- [24] Ben djellouli Zakaria-« Contribution a la modalisation d'un cellule solaire»- Mémoire pour l'optenation du diplôme de Magister-universite de BECHAR -2008/2009
- [25] Matallah Soraya Dinentiannenet-« simulation d'un système photovoltaïque pour a alimenter un habitat do ns la wilaya d'Ouargla »-Mémoire de Master-u.k.M.Ouargla-2015
- [26] مسعودي الضاوية " تأثير مخروط عاكس على تركيز مركز شمسي" مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي - جامعة ورقلة 2011-
- [27] بحث لنيل درجة الماجستير جامعة أم درمان الإسلامية ،تأثير أشعة جاما المنبعثة من الكوبالتت⁶⁰ CO على الترانزستور AC129 ، خالد محمد الحاج مصلح، يناير 2008 ، ص 13 .
- [28] Jean-pierre Colinge, Cynthia A.Colinge, "Physics of Semiconductor Devices", Kluwer Academic Publishers , New York , Boston , Dordrecht , London , Moscow 2002.
- [29]تأثير التلدين التشويب على بعض الخواص البصرية لأغشية كبريتيد الخارصين الرقيقة ، عبد المجيد عيادة إبراهيم ، زهير ناجي مجيد ، سوزان عبد الله حسن.
- [30] <https://www.electronpashaa.com/2020/03/Diode-properties-and-types-pdf.html>
- [31] <https://arab-ency.com.sy/ency/details/320/3>

[32] مذكرة ماستر اكاديمي " دراسة و محاكاة لوح خلايا الشمسية " صفحة 9 " جامعة قاصدي مرباح 2021

[33] مذكرة تحضير و دراسة الأغشية الرقيقة لكبريتيد الكاديوم المرسبة بطريقة الحمام الكيميائي.

[34] Hachani Adem, Ghouri Yakoub, Study of a photovoltaic system used for agriculture in the sahara of El Oued, mémoire de master en Electrical Control, université Echahid Hamma Lakhdar, El-Oued, 2018.

[35] Shuji Hasegawa , François Grey "Electronic transport at semiconductor surfaces –from point-contact transistor to micro –four point probes" ,Received 27 July 2000 ; accepted for publication 24 April2001.

[36] Adaine, Abdoulwahab. Optimisation numérique de cellules solaires à très haut rendement à base d'InGaN. Thèse de doctorat. 2018.

[37] أسس الالكترونيات د محمد فاروق أحمد د محمد خضر كاتب قسم الفيزياء كلية العلوم جامعة الملك سعود وجون وأيلي وأولاده نيويورك شيشستر تورنتو سنغافورة ص ب 2454 الرياض المملكة العربية السعودية 1984 .

[38] ترجمة الفصل الأول من كتاب p-n أسامة مسعود العشي و صلة تقريبات دوائر الترانزيستور للمؤلف مالفيينو (الطبعة الثانية)الجميل ليبيا 2017 .

[39] مذكرة ماستر أكاديمي " إنتاج الهيدروجين في منطقة الوادي " جامعة الشهيد حمه لخضر 2017.

[40] فيزياء الإلكترونات ، هندسة السيطرة والنظم ،الجامعة التكنولوجية ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي جامعة الموصل ، د .صبحي سعيد الراوي ص158-167-168 .

[41] Olivier Bonnaud Professeur à l'Université de Rennes1 , "Physique des Solides , des Semi-conducteurs et Dispositifs " , Juin 2003,p60

[42] مبادئ فيزياء الحالة الصلبة ، د .أحمد سالم صالح، أستاذ الفيزياء جامعة اليرموك ،الطبعة الأولى 2014، دار صفاء للنشر والتوزيع- عمان ، ص 28 .

[43] الإلكترونيات الأساسية(الإلكترونيات1) الدكتور محمد قعقع جامعة دمشق 1435-1436، 2014-2015 ص 312,313

[44] Christian Ngô, Hélène Ngô , « physique des semi-conducteurs », 4^{ème} édition, Dunod ,Paris,1998,2003,2007,2012, p107.

[45] مدخل في علم الإلكترونيات الحديثة ، د.فاروق محمد الطويل البطاينة ، جامعة البلقاء التطبيقية كلية عمان للهندسة والتكنولوجيا، مكتبة المجتمع العربي للنشر عمان 1999 ص17

[46]مقدمة في فيزياء أشباه الموصلات ، د.يسرى مصطفى، د. الحسيني الطاهر ،النوارس للدعاية والنشر، 2017 ، ص27-35.

[47] حجاج محمد طالب - زناقي عادل " تحسين مردود الألواح الشمسية باستخدام العواكس المسطحة " مذكرة ماستر أكاديمي - جامعة قاصدي مرباح 2019.

[48] محجوبي مباركة- شرحبيل سهيلة " دور الجرافين في الخلايا الشمسية " مذكرة ماستر أكاديمي -جامعة قاصدي مرباح 2020.

[49] Composants à semi-conducteurs De la physique du solide aux Transistors ,Olivier BONNAUD, Ellipses édition Marketing S.A , 2006.

[50]

file:///C:/Users/BACH_INFO/Desktop/%D8%A7%D9%86%D8%B5%D8%A7%D9%81%20%D9%86%D9%88%D8%A7%D9%82%D9%84/140w-flexible-cigs-solar-module40428111454.webp .

[51] إسماعيل خلف عباس, دراسة الخواص الكهربائية الثنائي شوتكي لشبه الموصل العضوي, مجلة علوم الرافدين, المجلد, 22, العدد, 3, جامعة الموصل 2011.

[52] <http://solutions-pv.asia/1-1-60p-mono-pv-module-solar-panel.htm>

[53] <https://rattibha.com/thread/1487072120387555336>

[54] <https://www.electricaltechnology.org/2019/10/blocking-bypass-diode-solar-panel-junction-box.html> .

[55] <https://www.kfsolar.com/product/polycrystalline-solar-panel-320w/>

[56]

https://www.marefa.org/%D8%AE%D9%84%D8%A7%D9%8A%D8%A7_%D8%B4%D9%85%D8%B3%D9%8A%D8%A9

[57] يوسف مهاجر - سبوعي ياسين " دراسة إنتاج الهيدروجين الشمسي في منطقة الوادي " مذكرة ماستر أكاديمي - جامعة شهيد حمي لخضر سنة 2017.

[58] (خلايفة + روضة): دراسة عامة حول استخدام الطاقة المتجددة لولاية الوادي مذكرة لنيل شهادة الماستر جامعة الوادي 2015 .

[59] A. Beggas, 'Elaboration and characterization of chalcogenide thin films by chemical bath deposition technique', Doctoral Thesis, Biskra University (2017).

[60] Farida Bandou-«Contribution a l'Analyse des performances électriques et thermiques des modules photovoltaïques de différentes Technologies» - Thèse de doctorat en science – Université mouloud mammeri de TIZI-OUZOU-2016.

[61] جون ر. فأنشي - كتاب الطاقة التقنية و التوجيهات للمستقبل - ترجمة د. عبد الباسط على صالح كرمان - الطبعة الأولى 2011.

[62] مقدمة في فيزياء أشباه الموصلات ، د. يسرى مصطفى، د. الحسيني الطاهر ، النوارس للدعاية والنشر ، 2017 ، ص 27-35.

[63] بحث حول استخدام الخلايا الشمسية في ضخ المياه صفحة 10.

[64] <https://muslims-res.com..>

[65] Anne Kaminski, Mathieu Monville² "Energie photovoltaïque Filière Physique des Composants Nanostructurés Phelma "Septembre (2010).

[66] عبد الباسط على صالح كرمان- توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية- " أنظمة الطاقة الفولتضوئية"- مركز الدراسات الوحدة العربية –2011

[67] Mme Azizi Amina-«Modélisation optimisation d'un système de production d'énergie photovoltaïque avec un système de stockage hybride»- Thèse de doctorat- Université Badji Mokhtar-Annaba-2019.

[68] Boualem Bendib-«Une nouvelle approche de modélisation et de commande des systèmes photovoltaïque autonomes»-Thèse de doctorat- Université Ferhat Abbas-Setif1-2017.

[69] بسام حمود نظم الطاقات المتجددة " التكنولوجيات – الحسابات " دمشق 2004.

[70] محمد فيصل سعيد, نحو استخدام امثل للطاقة الشمسية في اليمن, مؤسسة قرار الإعلام والتنمية المستدامة 2014

[71] <http://www.solar-facts-and-advice.com/solar-cells.html>

[72] Martin.A, Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa, Wilhelm Warta, and Ewan D.Dunlop. Solar cell efficiency tables (version 48). Progress in Photovoltaics : Research and Applications, 24(7) :905–913, July 2016. 1, 2, 14, 15, 16, 17, 89, 90, 110, 111.

[73] Nikita.K.N, GaffarM.A, Chowdhury.M.I.B, "Exploring the opportunity of using graphene as the transparent conducting layer in CZTS-based thin film solar cells". In 2016 3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT) (pp. 1-6). (2016).

[74] <https://solarabic.com/learn/2019/07/perovskite-solar-cells/>

[75] <https://muslims-res.com> .

[76] Khezzar.R, Zereg.M, Khezzar.A, "Comparaison entre les différents modèles électriques et détermination des paramètres de la caractéristique IV d'un module photovoltaïque". Revue des énergies renouvelables, 13(3), 379-388. (2010).

[77] Maouedj Rachid.' ' Application de l'énergie photovoltaïque au pompage hydraulique sur Lessites de tlemcen et de bouzareah' '. Thèse de Magister. Université de Tlemcen, Algérie,2005.

[78] Shraif.M.F, "Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique ". Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier de Toulouse 2002.

[79] A. A.Benhabireche abdelhak, etude numerique des cellules photovoltaïques heterojonction, mémoire de magister, universite des sciences et de la technologie houari boumediene, (2016).

[80] H. Chahrazed, Comparaison par simulation numérique entre une cellule solaire n/p et une cellules solaire p/n en silicium cristallin par SCAPS, Université Med Khider Biskra,(2014).

المخلص

لقد سعينا في هذا العمل لدراسة أحسن مردود ممكن أن تقدمه لنا خلية الشمسية البروفسكايت، وذلك عن طريق تغيير السمك أو تركيز في طبقات، كما تطرقنا إلى تطلع لمعرفة أنصاف نواقل والإشعاع الشمسي وخلية الشمسية وأنواعها ومميزاتها، تحصلنا من دراسات سابقة أن الجرمانيوم أو القصدير، اتضح لديهم عيب قد يؤثر على أداء الخلية الشمسية مثل الأكسدة السريعة، عدم الاستقرار لهذه المواد، وضعف الكفاءة في ظل، ارتفاع درجات الحرارة، لذلك قدمنا حلا بديلا مثاليا من وجهة نظرنا وهو استعمال أكسيد نحاس الأحادي بسبب خصائصه المتميزة، لأن كلما ازداد سمك طبقة أكسيد النحاس الأحادي زاد مردود خلية الشمسية بروفسكايت، لذلك نقول من وجهة نظرنا أن استعمال أكسيد النحاس الأحادي له فاعلية كبيرة إذا حظي باهتمام كبير في المستقبل.

الكلمات المفتاحية: طبقة رقيقة، خلية CIGS، محاكاة، SCAPS-1D

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié le rendement optimal de la cellule solaire pérovskite en variant l'épaisseur des couches et leur concentration. Nous avons également examiné les défauts associés au germanium et à l'étain, tels que l'oxydation rapide, l'instabilité et la faible efficacité à haute température. Nous avons proposé l'utilisation d'oxyde de mono-cuivre comme alternative prometteuse en raison de ses propriétés distinctes. Plus la couche d'oxyde de cuivre était épaisse, plus le rendement de la cellule solaire pérovskite augmentait. Cette découverte ouvre de nouvelles perspectives pour la recherche future dans ce domaine.

Mets clés : Couche mince, Cellule CIGS, Performance, SCAPS-1D