



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر

الميدان: علوم المادة

التخصص: فيزياء طااقوية وطاقات متجددة

الموضوع:

محاكاة خلية شمسية ذات أغشية رقيقة باستعمال
برنامج AFORS-HET

من إعداد: كاتون خلود
فطيمي عماد

يوم: الخميس 2023/06/22

لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ مساعد أ	. بوعنان رابح
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر أ	. بن طويلة عمر
مشرفا	جامعة ورقلة	أستاذ تعليم عال	. بابا حني أم الخير

السنة الجامعية:
2023/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



الإلهاد

أهدي ثمرة جهدي إلى من قال عز وجل فيهم:
"وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه وبالوالدين إحسانا"
إلى من وهبني كل ما يملك حتى أحقق له آماله، إلى من كان
يدفعني قدما نحو الأمام لنيل المبتغى، فحلم أنيراني في مثل
هذا اليوم أطل الله في عمرك *والدي الغالي*

إلى الشمعة التي أنارت طريقي فكان دعائها سر نجاحي،
إلى من ارتحت كلما تذكرت ابتسامتها إلى نبع الصبر
والحنان أطل الله في عمرك لتري ثمارا حان قطفها.
أمي الحبيبة

إليهما أهدي هذا العمل المتواضع لأدخل على قلبهما شيئا من
السعادة إلى من شاركوني حزن الأم، إلى أنسي الذين سعدت
برفقتهم في هذه الحياة *أخواتي نور اليقين ورزان*

إخوتي *عبد الستار* مسعود* ميسره محمد الإسلام* حظهم الله ورعاهم.

إلى من كانوا معي على طريق الخير والنجاح إلى من عرفت كيف أجدهم وعلموني
ألا أضيعهم:
إلى: صديقاتي.
إلى كل زملائي وأصدقائي دفعة 2023 دون استثناء إلى كل هؤلاء أهدي ثمرة
جهدي.

خلود

شُكْرٌ وَعِرْفَانٌ

قال صلى الله عليه وسلم

" من لا يشكر الناس لا يشكر الله "

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله، الحمد لله على إحسانه والشكر لله على توفيقه والصلاة والسلام على رسول الله.

بعد رحلة بحث واجتهاد مرت بصعوبات وتعب، تم إنجاز هذا العمل المتواضع الذي يعد من فيض نرة، ليكون لي بطاقة في أوردة الزمن وأكسب به في أذن المستقبل علما نافعا، راجية من المولى عز وجل التوفيق والسداد والنجاح لكل من طرق يوما بابا يطلب فيه علما لينير به أمة.

أتقدم أولا وآخرا بالشكر لله عز وجل الذي بنعمته تتم الصالحات، ولي الشرف أن أتقدم بأسمى عبارات الشكر والعرفان لأهل الفضل الذين قدموا لي يد المساعدة لإتمام هذا العمل وأخص بالذكر الأستاذة المحترمة " **بابا حني أم الخير** " على قبولها الإشراف واقتراحها لي هذا الموضوع القيم، وعلى توجيهاتها التي لا تقدر بثمن.

كما أتوجه بجزيل الشكر إلى الأستاذ " **بوعنان رابح** " لترأسه اللجنة، والأستاذ " **بن طويله** " ونتمنى أن يفدونني بأرائهم القيمة.

وتحية طيبة إلى اللجنة التي تكلمت بمناقشة مذكرتي.

" رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي وعلى والديا وأن أعمل

صالحا ترضاه وأدخلني برحمتك في عبادك الصالحين

2	مقدمة عامة
3	المقدمة العامة
4	الفصل الأول
4	عموميات حول الخلايا الشمسية
5	تمهيد
6	1-الشمس
6	2-الإشعاع الشمسي
7	3-الثابت الشمسي
7	4-الطاقة الشمسية
7	1-4-تعريفها
7	2-4-تحويلاتها: يمكن تحويل الطاقة إلى نوعين وهما
8	5-الفعل الكهروضوئي
9	6-تصنيف المواد
10	7- طيف الإشعاع الشمسي
11	8-التطعيم (الإشابة) "Dopage"
12	9-ثنائي الوصلة $n-p$ (الدايود)
12	10-ثنائي الوصلة عند الاتزان "الاستقرار"
13	11-الخلايا الشمسية
13	11-1-تعريف الخلايا الشمسية
14	11-2-أنواع الخلايا الشمسية
14	11-2-2-متعدد التبلور <i>Poly Crystalline</i>
15	11-2-3-الخلايا الشمسية العضوية (OPV)
16	11-2-4-الخلايا الشمسية الكهروضوئية المركزة (CPI)
17	11-2-5-الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة
21	11-3-الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية
23	12-آلية صنع الخلايا الشمسية السليكونية
24	13-ملحقات (مستلزمات) الخلية الشمسية
24	13-1-الألواح الشمسية
24	13-2-منظمات الشحن
25	13-3-البطاريات
26	14-مميزات وسلبيات الخلايا الشمسية
27	الخلاصة
28	الفصل الثاني
28	التعرف على برنامج Afors-het
29	تمهيد
29	1-المحاكاة

29	1-1- تعريفها
29	2-2- مفاهيم أساسية في محاكاة الخلية
30	3-1- الدارة المكافئة لخلية شمسية كهروضوئية ومحدداتها
31	3-2-3-1- دارة مثالية مكافئة لخلية شمسية
33	2-3- تعريف (Afors-het)
34	4- محاكاة بنية خلية شمسية ببرنامج AFORS-HET
39	الخلاصة
40	الفصل الثالث : تحليل النتائج و مناقشتها
41	تمهيد
41	1-1- تحديد بنية الخلية الشمسية من النوع CdTe
43	2-1- تأثير سمك الطبقة الماصة CdTe في الخلية (SnO ₂ /CdS/CdTe) على خصائص الخلية
45	2-2-1- تأثير سمك الطبقة CdTe في الخلية (CdS/CdTe/SnO ₂) على جهد الدارة المفتوح وتيار دارة القصر
47	3-1- تأثير درجة الحرارة على كل من معامل الشكل ومردود الخلية الشمسية (SnO ₂ /CdS/CdTe)
49	4-1- تأثير المقاومة التسلسلية على معامل الشكل ومردود الخلية الشمسية
50	5-1- تأثير المقاومة التفرعية على كل من معامل الشكل ومردود الخلية
51	6-1- تأثير نوع الطبقة الماصة على المردود
53	الخلاصة
56	الخاتمة
58	قائمة المراجع و المصادر
60	الملخص

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	المحتوى	رقم الشكل
7	أنواع الإشعاع الشمسي	الشكل (1-1)
8	استخدامات الطاقة الشمسية	الشكل (2-1)
8	الفعل الكهروضوئي	الشكل (3-1)
11	الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي	الشكل (4-1)
12	تشكل الوصلة n-p	الشكل (5-1)
12	ثنائي البلوري (الوصلة) n-p	الشكل (6-1)
13	منطقة الشحن الفراغية في الوصلة n-p	الشكل (7-1)
14	خلية أحادية التبلور	الشكل (8-1)
15	خلية متعددة البلورات	الشكل (9-1)
15	الخلايا أحادية التبلور ومتعددة التبلور والغير متبلورة	الشكل (10-1)
16	خلية شمسية بتقنية الصبغات العضوية (OPV)	الشكل (11-1)
16	الخلية الشمسية الكهروضوئية المركزة (CPV)	الشكل (12-1)
17	خلية شمسية ذات طبقة رقيقة	الشكل (13-1)
18	أنواع لأشكال الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة	الشكل (14-1)
20	بنية خلية كهروضوئية مبسطة	الشكل (15-1)
22	المنحنى المميز تيار جهد للخلية الشمسية في الظلام والضوء	الشكل (16-1)
23	كيفية تصنيع الخلايا الشمسية	الشكل (17-1)
24	الألواح الشمسية	الشكل (18-1)
26	ملحقات (مستلزمات) الخلايا الشمسية	الشكل (19-1)
30	مستويات طاقة الإلكترون الرئيسية	الشكل (1-2)
31	الدائرة المكافئة لخلية شمسية	الشكل (2-2)
32	الدائرة المثالية المكافئة للخلية الشمسية	الشكل (3-2)
34	أيقونة برنامج AFORS-HET	الشكل (4-2)
35	تحديد بنية الخلية الشمسية	الشكل (5-2)
35	نافذة Défini structure	الشكل (6-2)
37	إضافة طبقة	الشكل (7-2)
38	المخططات البيانية	الشكل (8-2)
41	بنية الخلية الشمسية (SnO ₂ /CdS/CdTe)	الشكل (1-3)
43	يمثل منحنى المميز تيار-جهد للخلية الشمسية الشكل (1-3)	الشكل (2-3)
43	منحنى الاستطاعة للخلية الشمسية الشكل (1-3)	الشكل (3-3)
45	منحنى تغيرات جهد الدائرة المفتوح لخلية شمسية الشكل (1-3) من أجل قيم مختلفة من السمك	الشكل (4-3)
46	منحنى تغيرات تيار الدائرة القصير لخلية الشكل (1-3) من أجل قيم مختلفة من السمك	الشكل (5-3)
46	منحنى تغيرات معامل الشكل لخلية شمسية الشكل (1-3) من أجل قيم مختلفة من السمك	الشكل (6-3)
47	منحنى تغيرات مردود الخلية الشكل (1-3) من أجل قيم مختلفة من السمك	الشكل (7-3)
48	منحنى تأثير تغير درجة الحرارة على معامل شكل الخلية من النوع CdTe	الشكل (8-3)
48	منحنى تأثير تغير درجة الحرارة على مردود الخلية من النوع CdTe	الشكل (9-3)
49	منحنى تأثير تغيرات المقاومة التسلسلية R _s على معامل شكل الخلية الشكل (1-3)	الشكل (10-3)

50	منحنى تأثير تغيرات المقاومة التسلسلية R_S على مردود الخلية الشمسية الشكل (1-3)	الشكل (11-3)
50	منحنى تأثير تغيرات المقاومة التفرعية R_{Sh} على معامل شكل الخلية الشمسية الشكل (1-3)	الشكل (12-3)
51	منحنى تأثير تغيرات المقاومة التفرعية R_{Sh} على مردود الخلية الشمسية الشكل (1-3)	الشكل (13-3)

قائمة الجداول

رقم الصفحة	المحتوى	رقم الجدول
10	جدول دالة شغل لكل عنصر	الجدول (1-1)
19	جدول بعض خواص المواد المستخدمة في الخلايا الشمسية	الجدول (2-1)
42	الثوابت الفيزيائية المستعملة لمحاكاة الخلية الشكل (1-3)	الجدول (1-3)
43	مميزات الخلية الشمسية للطبقة الماصة CdTe	الجدول (2-3)
44	نتائج محاكاة الخلية الشمسية الشكل (1-3)	الجدول (3-3)
51	مميزات كل طبقة	الجدول (4-3)

قائمة الرموز

وحدته	مدلوله	الرمز
	الإشعاع المباشر	S
	الإشعاع المنتشر	D
	الإشعاع الكلي	G
	الفصل الطاقوي	
/	حزمة النقل	
/	حزمة التكافؤ	
j*s	ثابت بلانك	H
m/s	سرعة الضوء	C
μm	الطول الموجي	
ev	دالة الشغل	
μM	الأشعة تحت الحمراء	IR
μM	الأشعة فوق البنفسجية	UV
/	الانتيمون	
/	البورون	B
V	جهد الدارة المفتوحة	
A	تيار قصر الدارة	
W	الاستطاعة الأعظمية	
%	معامل الشكل	FF
%	الكفاءة	
A	تيار مستمر	DC
A	تيار متناوب	AC
J	طاقة فيرمي	
	مقاومة تفرعية	
	مقاومة تسلسلية	

A	تيار ضوئي	
A	تيار مار في ديود	
A	تيار في المقاومة التفرعية	
A	تيار في مقاومة تسلسلية	
j/k	ثابت بولتزمان	K
C	شحنة الإلكترون	Q
K	درجة الحرارة المطلقة	T
V	مولد الجهد	V
V	الجهد الترموديناميكي	
V	الجهد الأعظمي	
A	التيار الأعظمي	
W	القدرة الكلية للضوء	M

المقدمة العامة

إن استهلاك الطاقة في العالم وفي الوقت الحالي في تزايد مستمر، وذلك بسبب تزايد عدد السكان وحدوث ثورة في التنمية الصناعية حالياً، يعتمد إنتاج الطاقة وبشكل أساسي على الوقود الأحفوري (النفط والفحم والغاز الطبيعي). وهو غير قابل للتجديد، كما أنه مورد محدود التوفر، كما أن استهلاكه يعتبر مصدر العديد من المشاكل البيئية مثل التلوث وحدوث ظاهرة الاحتباس الحراري. لذلك من المهم جداً تطوير مصادر بديلة جديدة للطاقة يمكنها تلبية الطلب المتزايد مع ضمان التنمية المستدامة والحفاظ على البيئة.

الطاقة الشمسية هي من أهم المصادر المرشحة لكي تكون مصدر للطاقة مستقبلاً، لأنها طاقة متجددة ومتوفرة ولأنها مصدر طاقة لا يزول ونظيف، كما أن استهلاك الطاقة الشمسية في تزايد ويمكن أن يغطي احتياجات العالم للكهرباء. إن أفضل الآليات المستعملة هي التحويل المباشر للإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية عبر الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة باستخدام بعض المواد التي تقوم بعملية التحويل الكهروضوئي والتي تدعى بأشباه الموصلات كالسيلكون والجرمانيوم. هذه الخلايا الشمسية خلايا متناهية الصغر ضرورية لمواكبة العصر.

الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة هي خلايا من الجيل الثاني يتم تصنيعها عن طريق ترسيب طبقة رقيقة واحدة أو أكثر من المواد الضوئية على الركيزة، مثل الزجاج أو البلاستيك أو المعدن. تستخدم هذه الخلايا بشكل تجاري في العديد من التقنيات، بما في ذلك تيلوريد الكاديوم ($CdTe$) وغاليوم الإنديوم النحاسي ($CIGS$)، والسيليكون الرقيق غير المتبلور ($TF-Si$)، كما أن لهذه الخلايا تطبيقات عديدة منها التي بدأت في الثمانينيات بشرائط صغيرة كانت تستخدم في الآلات الحاسبة والساعات. خلال أوائل القرن الحادي والعشرين، زادت إمكانات تطبيقات الأغشية الرقيقة بشكل كبير، بسبب مرونتها، والتي يسهل تركيبها على الأسطح المنحنية وكذلك استخدامها في بناء الخلايا الكهروضوئية المتكاملة.

إن إجراء التجارب لدراسة الخلايا الشمسية النانوية صعب يتطلب إمكانات ومخبر حديثة. يمثل برنامج $AFORS-HET$ أداة محاكاة رقمية بالكمبيوتر لنمذجة الخلايا الشمسية متعددة الطبقات غير المتجانسة، بالإضافة إلى بعض طرق توصيف الخلايا الشمسية الشائعة، فهو برنامج فعال وقد استخدم في كثير من المقالات العلمية التي تدرس هذه الخلايا.

في عملنا هذا سنقوم بدراسة محاكاة خلايا شمسية ذات طبقات رقيقة من النوع تيلوريد الكاديوم ($CdTe$) باستعمال برنامج $AFORS-HET$ ، حيث أننا سنقوم بالإجابة عن التساؤلات التالية: ما هو تأثير تغيرات كل من سمك الطبقة الماصة من نوع $CdTe$ ودرجة الحرارة والمقاومة التسلسلية والتفرعية على خصائص الخلية الشمسية من النوع $CdTe$ والمتمثلة في جهد الدارة المفتوحة وتيار قصر الدارة ومعامل الشكل والكفاءة (المردود).

قسم هذا العمل إلى ثلاثة فصول:

-الفصل الأول سنتطرق فيه إلى عموميات حول الخلايا الشمسية وركزنا فيه على الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة

-الفصل الثاني سنتطرق فيه إلىدراسة محاكاة عددية لخلية شمسية $CdS / CdTe/SnO_2$ وذلك ببرنامج $AFORS-HET$.

-الفصل الثالث والأخير فسنقوم فيه بعرض النتائج ومناقشة النتائج المتحصل عليها مع ذكر أهم الاستنتاجات المنبثقة من هذا العمل.

الفصل الأول

عموميات حول الخلايا الشمسية

تمهيد

تعتبر الطاقة الشمسية من أهم موارد الطاقة في العالم كما أنها من أهم مصادر الطاقة المتجددة نظرا لأنها إحدى الخيارات الاستراتيجية الرئيسية لتلبية الاحتياجات المستقبلية والمحلية والعالمية من الطاقة، حيث أنها تمتاز بتوافرها في معظم دول العالم، علاوة على كونها طاقة نظيفة غير ملوثة. وفكرة استخدام الطاقة الشمسية في تسخين أو تحريك اليات ليست جديدة، فقد حدثنا التاريخ عن ارخميدس الذي عاش في القرن الثالث قبل الميلاد أنه قد استخدم الأشعة الشمسية المركزة في حرق سفن العدو في إحدى المعارك الحربية. ومن طرق استغلال هذه الطاقة، استغلال الحرارة الناتجة من تركيز الأشعة الشمسية واستخدام الألواح الشمسية التي تعمل على تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء، شهدت استعمالات الطاقة الكهروضوئية نمو كبير للغاية في السنوات الأخيرة نظرا لارتفاع تكاليف الوقود الأحفوري ونفاذه بعد سنوات من استغلاله الجائر. وسنتطرق في هذا الفصل إلى الخلايا الشمسية بأنواعها ونركز على الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة خاصة.

1-الشمس:

هي النجم المركزي للنظام الشمسي وهي إحدى نجوم مجرة درب التبانة التي تحوي تقريبا نحو 200 مليار نجم ويبلغ قطر الشمس 1.392.684 كيلومتر وهو ما يعادل 109 أضعاف قطر الأرض وكتلتها 2×10^{30} كيلو غرام وهو ما يعادل 330.000 ضعف كتلة الأرض. وهي مصدر الطاقة الأساسي حيث توفر الحرارة والضوء للأرض، وهي عبارة عن كرة ضخمة من الغازات الساخنة مثل كل النجوم حيث تنتج كميات هائلة من الطاقة عن طريق تحويل الهيدروجين إلى هيليوم في أعماقها. [1]

2-الإشعاع الشمسي:

2-1-تعريفه: هو مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة والقادرة على توليد قدرة كهربائية. لا يصيب الأرض إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من أشعة الشمس التي تقدر بنحو 130ميجاوات لكل متر مربع من سطح الشمس، وهذا القدر الضئيل هو المسؤول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي. [2]

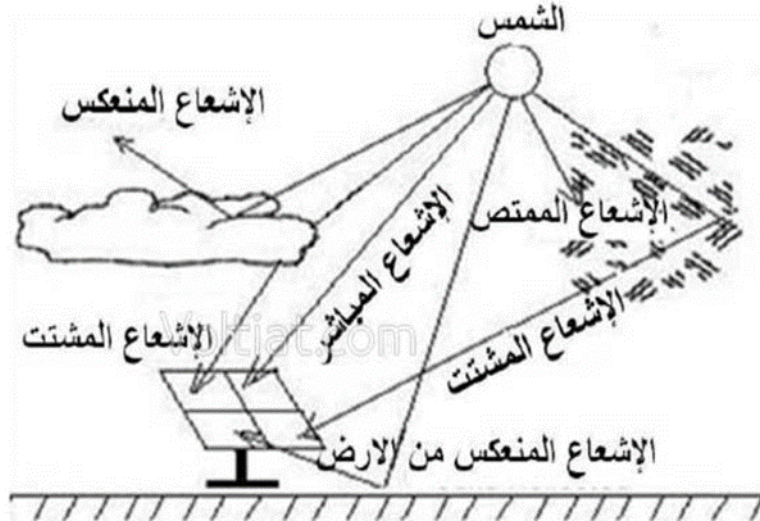
يخترق هذا الإشعاع الغلاف الجوي الأرضي وينعكس جزء منه في الفضاء خارج الغلاف الجوي، كما ينتشتت جزء داخله والجزء المتبقي ينفذ عبر الغلاف وبالتالي فإن الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض يكون على ثلاث أشكال:

- **الإشعاع المباشر (S):** وهو الإشعاع الذي يعبر الغلاف الجوي دون الانعكاس ولا تشتتت، أي عبارة عن حزمة ضوئية مباشرة من الشمس وتبقى على حالها دون ضياع.

- **الإشعاع المنتشر (D):** وهو الإشعاع الذي يتعرض للتشتت بواسطة مكونات الغلاف الجوي.

- **الإشعاع الكلي (G):** وهو الإشعاع الواصل إلى نقطة من سطح الأرض الناتج من مجموع

الأشعة المباشرة والمنتشرة والمنعكس $G=D+S+R$ [3]



الشكل (1-1): أنواع الإشعاع الشمسي

3-الثابت الشمسي:

الثابت الشمسي هو كثافة تدفق قياس الإشعاع الكهرومغناطيسي الشمسي المتوسط (الإشعاع الشمسي) لكل وحدة مساحة.

4-الطاقة الشمسية:

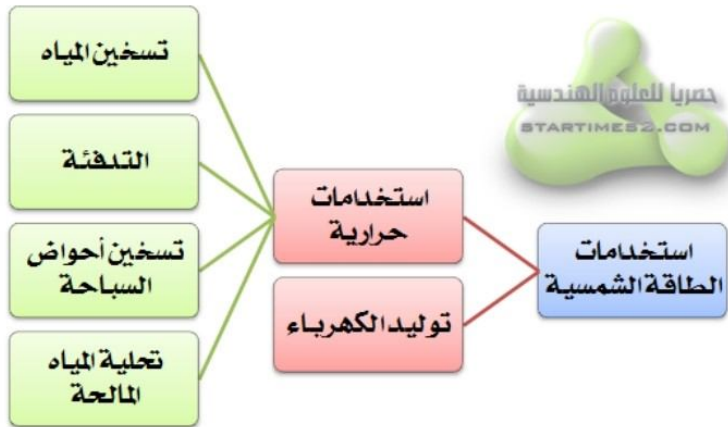
4-1-تعريفها: هي شكل من أشكال الطاقة والتي تعني القدرة المرتبطة بإمكانية نظام وقدرته على بذل عمل وتقدر بالجول. يمكن استغلال الطاقة الشمسية اما بتركيز الاشعة الشمسية وتحويلها الى طاقة حرارية أو باستعمال الخلايا الشمسية لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء بالفعل الكهروضوئي.

4-2-تحويلاتها: يمكن تحويل الطاقة إلى نوعين وهما:

4-2-1-الطاقة الحرارية: يتم الحصول عليها بواسطة آلية التحويل الحراري والذي يعتمد على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات الشمسية، فإذا تعرض جسم

داكن اللون ومعزول للإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع وترتفع درجة حرارته، ويستفاد من هذه الحرارة في التدفئة والتبريد وتسخين المياه.

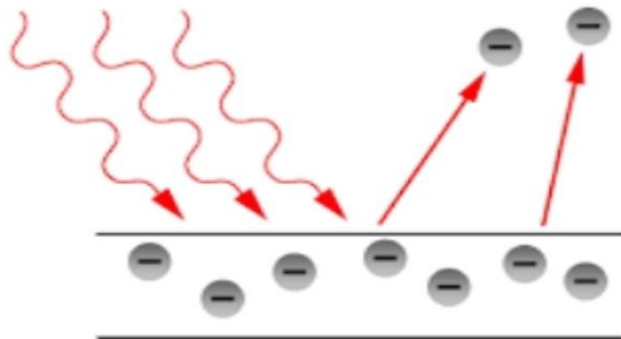
4-2-2-2- الطاقة الكهربائية: ونحصل على هذه الطاقة من خلال آلية التحويل الكهروضوئي والتي يقصد بها تحويل الإشعاع الشمسي مباشرة إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية.



الشكل (2-1) استخدامات الطاقة الشمسية

5-الفعل الكهروضوئي:

الفعل الكهروضوئي تحرر الإلكترونات من مادة نتيجة تعرضها للضوء، حيث تقوم الفوتونات التي تمتلك طاقة أكبر من طاقة الفجوة بتحرير الإلكترونات يمكن أن تسري في ناقل وتترك وراءها فجوات موجبة الشحنة.



الشكل (3-1) الفعل الكهروضوئي

6-تصنيف المواد:

تنقسم المواد إلى أقسام:

-المواد الناقلة: هي مواد ناقلة للتيار الكهربائي، وتتميز هذه المواد بامتلاكها إلكترونات حرة يمكنها أن تنتقل من ذرة إلى أخرى في المادة وبالتالي تؤدي إلى مرور التيار عبرها، ويعبر عن ذلك بالقول إن المواد الناقلة ذات مقاومة نوعية منخفضة.

-المواد العازلة: هي مواد غير ناقلة للتيار الكهربائي، وهي مواد لا تمتلك الإلكترونات حرة حيث تكون الإلكترونات ذراتها ملتصقة في مدارات ذراتها ولا يمكن لها الحركة بين الذرات، ويعبر عن ذلك بالقول إن المواد العازلة ذات مقاومة نوعية عالية. وبشكل عام نقول بأن المواد العازلة تتواجد على يمين الجدول الدوري للعناصر.

-المواد النصف ناقلة: وهي مواد صلبة ينتقل فيها التيار الكهربائي بصعوبة. بالإضافة إلى أن الفاصل الطاقوي (E_g) (الطاقة اللازمة لنقل الإلكترونات من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة النقل) لديها صغير مقارنة بالعوازل حيث يمكن للإثارة الضوئية أو الحرارية أن تجعل الإلكترونات تنتقل من حزمة النقل (B_c) إلى حزمة التكافؤ (B_v). يتم تحرير الإلكترونات بتسليط ضوء شدته ضعيفة وتردده أكبر من دالة الشغل

يتم زيادة أو نقصان موصليتها الكهربائية، فمثلا الزيادة تتم برفع درجة الحرارة أو تعرضها للضوء أو مجال مغناطيسي أو إضافة عناصر أخرى بكميات عالية وتسمى هذه العملية بالتطعيم أو التشويب. لجعل نصف ناقل عازل فذلك يكون بتخفيض درجة الحرارة لل 0 مطلق فيصبح النصف ناقل عازلا لأنه لا توجد هنا إلكترونات حرة فكلها مرتبطة فيصعب كسر ارتباط الإلكترون بالذرة ويصعب تحريك الإلكترونات التي تساهم في عملية النقل الكهربائي وهذا عكس النواقل ففي النواقل بانخفاض درجة الحرارة تزيد ناقليتها.

-المعادن:

المعادن هي العناصر التي لها موصلية جيدة، وهي قابلة للطي وقابلة للطرق وذات كثافة عالية. يمكن تصنيف المعادن إلى معادن حديدية (الحديد وسبائكه) ومعادن غير حديدية (الألمنيوم والنحاس والزنك وسبائكه). تعتبر المعادن بشكل عام (كالنحاس والألمنيوم وغيرها) أمثلة جيدة على المواد الناقلة، وهي تقع بشكل رئيسي على يسار الجدول الدوري للعناصر.

-دالة الشغل:

هي أقل طاقة يحتاجها الإلكترون لكي ينتزع من سطح مادة معينة. وفي التأثير الكهروضوئي تتم اثاره الإلكترون عندما يمتص فوتونا ضوئياً، فإذا كانت طاقة الفوتون أكبر من دالة الشغل (النوعية) يتحرر الإلكترون ويغادر سطح المادة والطاقة الزائدة عن تحرر الإلكترون تظهر على الإلكترون في صورة طاقة حركية. [4]

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

h : ثابت بلانك ($6.626 * 10^{-34} j * s$)

c : سرعة الضوء ($3 * 10^8 m/s$)

λ : الطول الموجي

الجدول (1-1) دالة شغل لكل عنصر

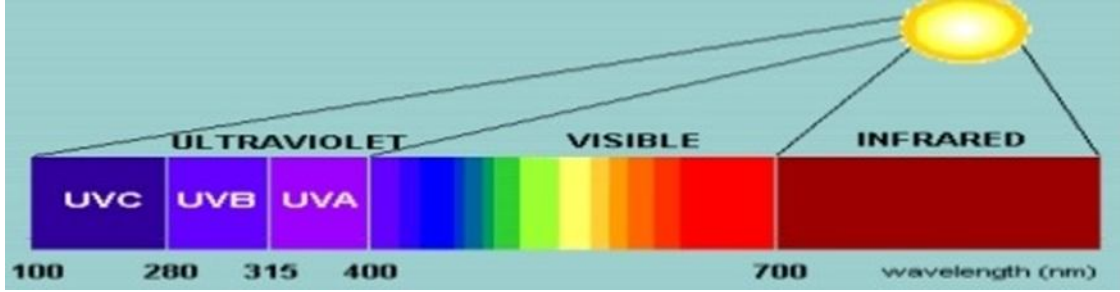
دالة الشغل W_0 [eV]	العنصر <i>Element</i>
4.7	النحاس
5.1	الذهب
4.5	الحديد
5.00	النيكل
4.26-4.73	الفضة
4.3	الزنك
3.68	المغنيزيوم

تتراوح قيم عنصر كل دالة شغل بين 1V-6V

7- طيف الإشعاع الشمسي:

وهو عبارة عن الإشعاع الصادر من الشمس، والمعروف باسم أشعة الشمس والذي هو خليط من الموجات الكهرومغناطيسية، والتي تبدأ من الأشعة تحت الحمراء IR إلى أن تصل إلى الأشعة فوق البنفسجية UV، ويحتوي بالتأكيد على الضوء المرئي الذي يمكن رؤيته وملاحظته بالعين المجردة، والذي يقع بين الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية في ألوان الطيف الشمسي

الكهرومغناطيسي [5]، كما أن الشمس لا تنتج فقط الأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية من ألوان الطيف الشمسي، بل إن عمليات الانصهار التي تحدث في مركز قرص الشمس ينتج أيضا أشعة غاما ذات الطاقة الكبيرة.



الشكل (1-4) الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي [6]

8-التطعيم (الإشابة) "Dopage":

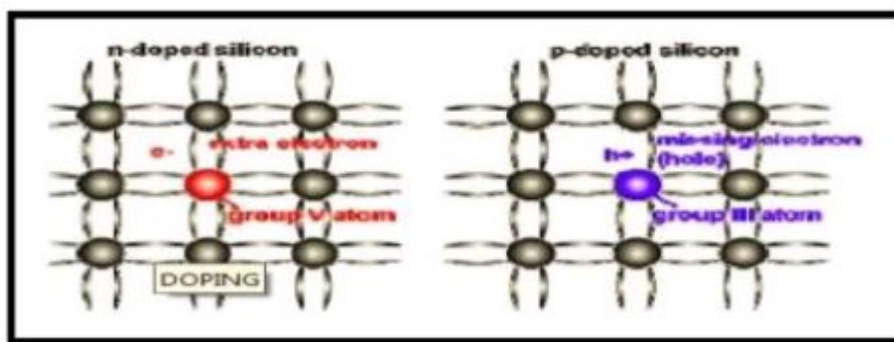
التطعيم هو عملية ادخال شوائب خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ لشبه موصل نقي مثل السيليكون أو الجرمانيوم في ظروف خاصة ونسب معينة بحيث تكون ذرة شائبة لكل 10^8 ذرة شبه موصل. وتتم الإشابة عن طريق إضافة كمية قليلة من مادة غنية بالإلكترونات أو مادة ناقصة الإلكترونات بها فجوات.

تتحرك الكهرباء في مادة مشابهة (مثل الترانزستور) بتحرك الإلكترونات (سالبة الشحنة) وينتج عنها تحرك الفجوات (موجبة الشحنة).

نزيد قابلية توصيل أشباه الموصلات إما بالتأثير الحراري أو بعملية التطعيم، وتفضل عملية التطعيم على التأثير الحراري لأن في التأثير الحراري لا نستطيع التحكم في آلية التوصيل

شبه موصل نوع n هو شبه موصل نقي شوب بشائبة خماسية التكافؤ مثل الأنتيمون (Sb) فارتبطت الذرة الشائبة بأربع ذرات من شبه الموصل (السيليكون) بأواصر (روابط) تساهمية فيبقى إلكترون واحد حر الحركة فيصبح جهد البلورة (الوصلة) سالب لأن بها إلكترونات حرة.

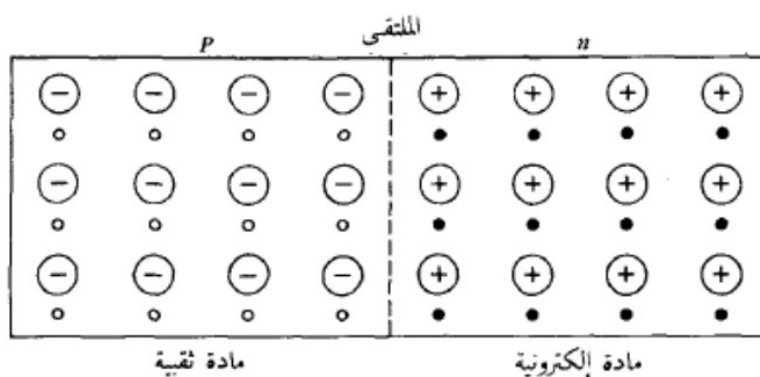
شبه موصل نوع p هو شبه موصل نقي شوب بشائبة ثلاثية التكافؤ مثل البورون (B) فارتبطت الذرة الشائبة بثلاثة ذرات من شبه الموصل (السيليكون) بأواصر (روابط) تساهمية فتبقى آصرة واحدة تفتقر إلى إلكترون فتتولد فجوة، فجهد البلورة يصبح موجب به فجوة حرة.



الشكل (5-1) تشكل الوصلة $n-p$

9-ثنائي الوصلة $n-p$ (الدايود):

ثنائي الوصلة $n-p$ (الدايود) وهو شبه موصل نقي شوباً أحد الطرفين بشائبة خماسية التكافؤ (غني بالإلكترونات الحرة) فنحصل على شبه موصل من نوع (n -type) و الطرف الثاني شوب بشائبة ثلاثية التكافؤ (غني بالفجوات الحرة) فنحصل على شبه موصل من النوع (p -type). عند توصيل الجزئين مع بعض عند منطقة الملتقى (التلامس) تنتقل شحنات سالبة n وتلتحم مع الثقوب الموجودة في الجزء p يرمز لثنائي القطب (صمام ثنائي أو دايود) في الدوائر الالكترونية كالاتي: [3]

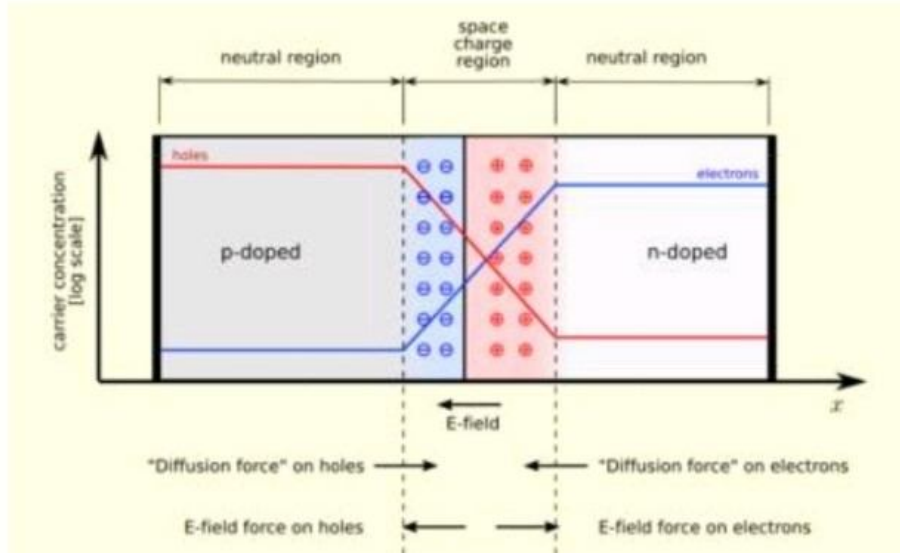


الشكل (6-1) ثنائي البلوري (الوصلة) $n-p$

10-ثنائي الوصلة عند الاتزان "الاستقرار":

بتشكل ثنائي الوصلة $n-p$ ونتيجة لاختلاف تراكيز الالكترونات والفجوات على جانبي الوصلة (البلورة) تنتشر الالكترونات من المنطقة n إلى المنطقة p والفجوات من المنطقة p إلى المنطقة

n وتسمى بعملية الانتشار أو النضوب، وعند حدوث عملية الانتشار للإلكترونات والفجوات تليها عملية الالتحام أو الاتحاد وهي استقرار الإلكترون فوق الفجوة واستقرار الفجوة فوق الإلكترون ونتيجة لحدوث هاتين العمليتين الانتشار والاتحاد هذه تصبح المنطقة القريبة من الوصلة لا تحتوي على الكترولونات وأو فجوات حرة، وكذلك الشحنات تصبح غير متعادلة، لان الإلكترون الذي يعبر الى المنطقة p يترك وراءه أيون موجب بالمنطقة n وكذلك الفجوة التي تعبر الى المنطقة n تترك وراءها أيون سالب بالمنطقة p . وهكذا تتكون شحنة فراغية على جانبي الوصلة وتسمى هذه المنطقة (*space-charge*) التي تكونت فيها الشحنة الفراغية منطقة الاستنزاف أو الانتقال (*transition région*) الشكل (7-1) يبين منطقة الانتقال: [3]



الشكل (7-1) منطقة الشحنة الفراغية في الوصلة $n-p$

الجهد الحاجز: يتكون فرق جهد على جانبي الوصلة يزداد بفعل حركة الشحنات السائدة عبر الوصلة حتى نصل إلى ما يسمى بالجهد الحاجز. يعمل الجهد الحاجز على وقف المزيد من انتقال الإلكترونات الذي يقابله تشكل الثقوب من الوصلة السالبة إلى الوصلة الموجبة، وبمعنى آخر يعمل هذا الجهد على منع حركة حاملات الشحنة السائدة عبر الوصلة.

11-الخلايا الشمسية:

11-1-تعريف الخلايا الشمسية:

وتعرف أيضا بالخلايا الكهروضوئية وهي عبارة عن أداة الكترونية مصنوعة من أشباه موصلات يتشكل عبرها فرق في الجهد عند تعرضها للضوء، ويتولد عنها تيار كهربائي ترتبط قيمته بمعامل امتصاصها للضوء. [7]

والخلايا الشمسية أنواع: الخلايا الشمسية المتبلورة والخلايا الشمسية ذات الأغشية رقيقة والخلايا الشمسية العضوية وكذلك الخلايا الشمسية الكهروضوئية المركزة. يتم توصيل طرفي الخلية بحمل كهربائي (مصباح مثلا) للاستفادة من التيار الكهروضوئي الناتج عن الخلية.

11-2-أنواع الخلايا الشمسية:

توجد أنواع عديدة ومختلفة من الخلايا الشمسية وهذا حسب تركيب وكفاءتها وتكلفة صناعتها وسنتطرق في هذا الباب إلى أهم الخلايا الشمسية المستعملة.

11-2-1-أحادي التبلور *Mono Crystalline*:

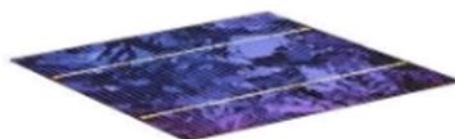
تعتبر من أقدم الأنظمة، وتصنع من بلورة واحدة من السيليكون النقي ولها شكل موحد (متجانسة المظهر الخارجي). تصل كفاءة هذا النوع من الخلايا من (12% – 20%) أعلى من الخلايا المتعددة بقليل وتتطلب أقل مساحة مقارنة بالألواح المتعددة وذات عمر طويل بضمان لمدة 20 عاما على الألواح الشمسية وتكلفتها صغيرة. [8]



الشكل (8-1) خلية أحادية التبلور

11-2-2-متعدد التبلور *Poly Crystalline*:

تشكل الخلايا الشمسية السليكونية الجيل الأول من (86% – 89%) من الإنتاج التجاري في سوق الخلايا الشمسية. تصنع من بلورات متعددة موحدة الشكل الخارجي، نقاوة السيليكون أقل من الخلايا الأحادية، أي أقل كفاءة من نظيراتها الأحادية ويتم تصنيف كفاءتها عادة حوالي (15% – 18%) وتحتاج مساحة أكبر للحصول على نفس القدرة من ألواح المونو (الأحادية). تكنولوجيا التصنيع أكثر بساطة وبالتالي فهي أقل تكلفة ومعامل حرارتها أقل من الخلايا أحادية البلورة، الفرق الرئيسي بين الخلايا الأحادية والمتعددة في طريقة التصنيع [9]

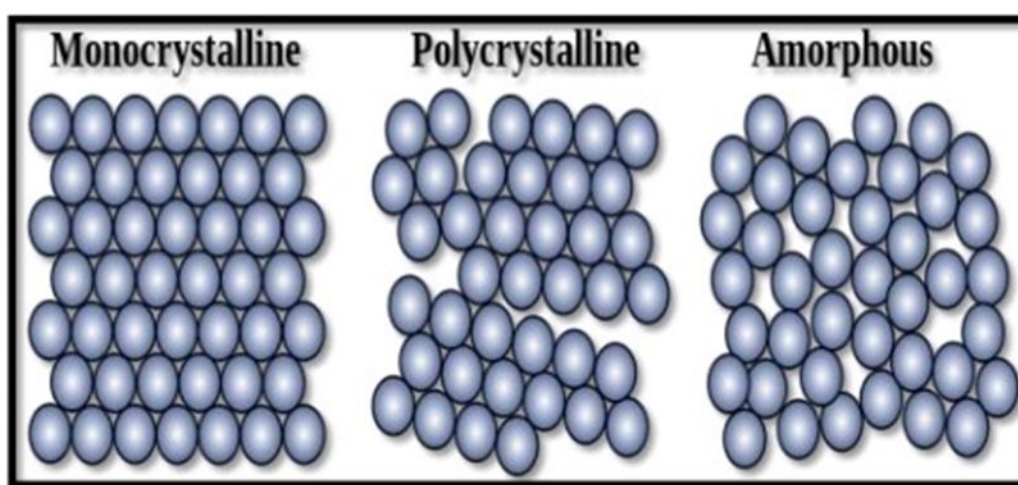


Cellule polycristalline

خلية متعددة البلورات

الشكل (9-1) خلية متعددة البلورات

الشكل (10-1) يمثل الخلايا أحادية التبلور ومتعددة التبلور وغير المتبلورة



الشكل (10-1) الخلايا أحادية التبلور ومتعددة التبلور وغير المتبلورة

11-2-3- الخلايا الشمسية العضوية (OPV):

الخلايا الشمسية العضوية أو الخلايا البلاستيكية هي نوع من الخلايا الضوئية التي تستخدم الالكترونيئات العضوية، وهو فرع من الالكترونيئات التي تتعامل مع البوليمرات العضوية الموصلة أو الجزيئات العضوية الصغيرة، لامتصاص الضوء ونقل الشحنة لإنتاج الكهرباء من أشعة الشمس بواسطة التأثير الضوئي. معظم الخلايا الكهروضوئية العضوية هي خلايا شمسية بوليمرية.

الجزيئات المستخدمة في الخلايا الشمسية العضوية هي قابلة للحل في عملية إنتاجية عالية وهي رخيصة، مما يؤدي إلى انخفاض تكاليف الإنتاج لتصنيع حجم كبير. إلى جانب مرونة الجزيئات العضوية. من المحتمل أن تكون الخلايا الشمسية العضوية فعالة من حيث التكلفة بالنسبة للتطبيقات الكهروضوئية. يمكن للهندسة الجزيئية (على سبيل المثال تغيير الطول والمجموعة

الوظيفية للبوليمرات) تغيير فجوة النطاق، مما يسمح بالتوافق الإلكتروني. إن معامل الامتصاص البصري للجزيئات العضوية مرتفع، لذا يمكن امتصاص كمية كبيرة من الضوء بكمية صغيرة من المواد، عادة بترتيب مئات النانومترات. تتمثل العيوب الرئيسية المرتبطة بالخلايا الكهروضوئية العضوية في الكفاءة المنخفضة والثبات المنخفض والقوة المنخفضة مقارنة بالخلايا الضوئية غير العضوية مثل الخلايا الشمسية السليكونية.



الشكل (11-1) خلية شمسية بتقنية الصبغات العضوية (OPV)

11-2-4-الخلايا الشمسية الكهروضوئية المركزة (CPV):

المعروفة أيضا باسم الخلايا الفولتية الضوئية المركزة وهي تقنية كهروضوئية تولد الكهرباء من ضوء الشمس. على عكس الأنظمة الكهروضوئية التقليدية فإنها تستخدم العدسات أو المرايا المنحنية لتركيز ضوء الشمس على الخلايا الشمسية الصغيرة تحتها وعالية الكفاءة ومتعددة الوصلات.



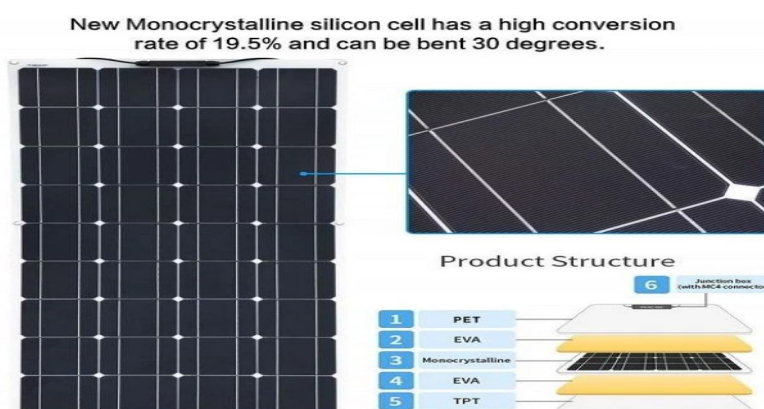
الشكل (12-1) الخلية الشمسية الكهروضوئية المركزة (CPV)

11-2-5-الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة:

11-2-5-1-تعريفها:

الخلية الشمسية ذات الأغشية الرقيقة هي عبارة عن خلية شمسية من الجيل الثاني يتم تصنيعها عن طريق ترسيب طبقة رقيقة واحدة أو أكثر، أو طبقة رقيقة من المواد الضوئية على ركيزة.

[10]



الشكل (13-1) خلية شمسية ذات طبقة رقيقة [11]

تشمل العناصر الأساسية للخلية الشمسية ذات الأغشية الرقيقة ما يلي:

1-الركيزة: هذه هي الطبقة الأساسية للخلية الشمسية، والتي توفر الدعم الميكانيكي والسطح الذي تترسب عليه طبقات الأغشية الرقيقة. وتشمل مواد الركيزة الشائعة الزجاج أو المعدن أو البلاستيك.

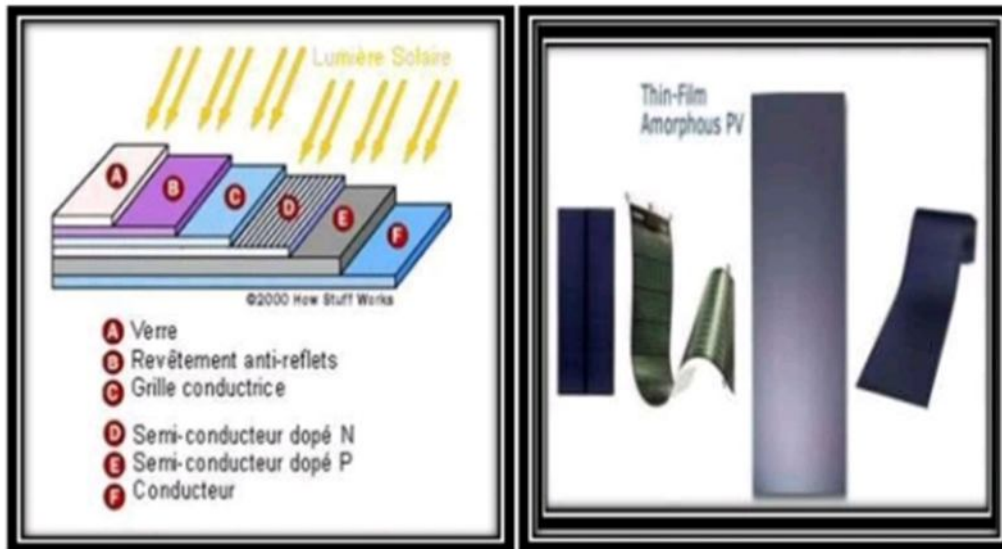
2-طبقة موصلة شفافة: تتكون هذه الطبقة عادة من أكسيد موصل شفاف مثل أكسيد (TCO) وقصدير الإنديوم (ITO)، وتستخدم لتوفير مسار موصل لتدفق التيار في الخلية الشمسية مع السماح للضوء بالمرور إلى الطبقات النشطة.

3-الطبقة النشطة: تتكون هذه الطبقة من مادة شبه موصلة، مثل السيليكون غير المتبلور أو تيلوريد الكاديوم (CdTe)، سيلينيد النحاس الإنديوم الغاليوم (CIGS) والتي تمتص الفوتونات من ضوء الشمس وتولد شحنة كهربائية. عادة ما يكون سمك الطبقة النشطة بضعة ميكرومتر فقط.

يتم استخدام الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة بشكل تجاري في العديد من التقنيات، بما في ذلك الجرمانيوم و *CdTe* و *CIS* و *GaAs*.

4-الاتصال الخلفي: تتكون هذه الطبقة عادة من معدن مثل الألومنيوم أو الفضة، وتوفر مسارا موصلا ثانيا لتدفق التيار في الخلية الشمسية. كما أنه يعكس أي ضوء غير مستخدم يعود من خلال الطبقة النشطة لزيادة كفاءة الخلية الشمسية.

تشتهر خلايا الاغشية الرقيقة منذ أواخر السبعينات، عندما ظهرت الآلات الحاسبة الشمسية التي تعمل بشريط صغير من السيليكون غير المتبلور في السوق. وهي متوفرة الآن في وحدات كبيرة جدا تستخدم في المنشآت المتطورة لبناء المباني وأنظمة شحن السيارات. وعلى الرغم من أن تقنية الأغشية الرقيقة من المتوقع أن تحقق تقدما ملحوظا في السوق وأن تتفوق على تكنولوجيا السيليكون المتبلور التقليدية على المدى الطويل، إلا أن حصة (*c-Si*) المسيطرة في السوق أخذت في الانخفاض منذ عدة سنوات حتى الآن. عام 2010، عندما كان هناك نقص في الوحدات الكهروضوئية التقليدية، استحوذت الطبقة الرقيقة على 15 في المائة من السوق ككل، وانخفضت إلى 8 في المائة في عام 2014، ومن المتوقع أن تستقر عند 7 في المائة من عام 2015 فصاعدا. والشكل (14-1) يوضح أنواع لأشكال الخلايا الشمسية الرقيقة:



الشكل (14-1) أنواع لأشكال الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة

هذا النوع من الخلايا الكهروضوئية لها مستقبل واعد لأنها أقل تكلفة من الخلايا البلورية وأسهل من ناحية التصنيع، لكن مردودها مازال ضعيفا مقارنة بالخلايا الشمسية للجيل الأول. وهذا الجدول الموالي (2-1) يوضح بعض خواص المواد المستخدمة في الخلايا الشمسية الرقيقة:

الجدول (2-1) بعض خواص المواد المستخدمة في الخلايا الشمسية

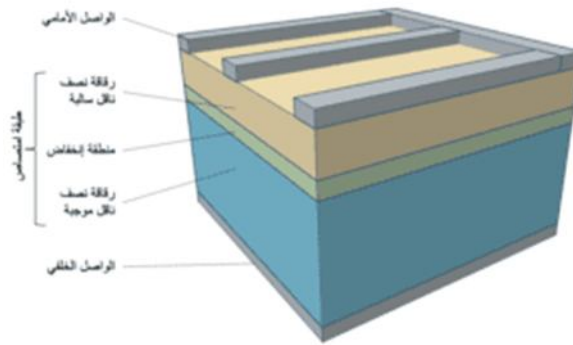
الخلية	الجرمانيوم Ge	ثاني سيلينيد إنديوم النحاس CIS	زرنخيد الجاليوم(الغاليوم) GaAS	تيلوريد الكادميوم CdTe
البنية		يستخدم سيلينيد إنديوم النحاس في صناعة رقائق الخلايا الشمسية حيث يكون على شكل كثير البلورات. لقد أقرت بعض مجموعات الأبحاث بالوصول إلى كفاءة تحويل تصل إلى 19.5%. [12]	تعد مادة الغاليوم من المواد الشبه الموصلة المشهورة في عالم الخلايا الشمسية، حيث يمكن لكفاءتها أن تصل حتى 30%، إذ تمتاز بخصائص كهربائية جيدة، بالإضافة إلى مقاومتها للحرارة [13]	تيلوريد الكاديوم مسحوق بلوري أسود يتكون من عنصر الكاديوم وعنصر التيلوريوم، وهو عبارة عن مادة محصورة بكريتيد الكادميوم Cds من أجل تشكيل خلية شمسية كهروضوئية
فجوة النطاق (eV)	0.67	1.04	1.43	1.49

الشكل المجاور (15-1) يمثل "بنية خلية كهروضوئية مبسطة"، هذه الخلية تتكون من:

1-طبقة امتصاص Absorber Layer: تقوم هذه الطبقة بامتصاص الفوتونات من الضوء المسلط على الخلية كهروضوئية. المكون الرئيسي لهذه الطبقة هو وصلة الموجب والسالب $p-n$ والتي تقوم بتسيير الإلكترونات والثقوب الناتجة عن الفعل كهروضوئي.

2-الواجهة المعدنية Metal Front: تعتبر هذه الواجهة المعدنية المخرج للإلكترونات المحفزة التي تنتقل للرقاقة السالبة.

3-الواصل الخلفي Back contact: يستقبل هذا الواصل الإلكترونات التي تدخل الرقاقة الموجبة ومن ثم تندمج مع الفجوات الموجبة.



الشكل (15-1) بنية خلية كهروضوئية مبسطة

11-2-5-2-مبدأ عمل الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة:

في البداية تقوم الخلايا الشمسية والتي توضع بشكل مباشر تحت أشعة الشمس بامتصاص هذه الأشعة وتحول هذه الأشعة لطاقة كهربائية يستفيد منها الانسان في العديد من الأغراض والمجالات، وبذلك تعمل أشعة الشمس كبديل لما تقوم به المولدات الكهربائية المعتادة. فعندما تشرق الشمس والتي تحتوي أشعتها على طاقة كبيرة جداً، هنا تستقطب الألواح الشمسية هذه الطاقة، حيث تحتوي هذه الألواح على العديد من الخلايا الشمسية المصفوفة بجانب بعضها البعض، وهذه الخلايا الشمسية تتألف من مواد شبه موصلة (غالبا السيليكون)، تقوم هذه الخلايا باستقبال الطاقة الشمسية وتبدأ بالحركة بنظام الطرد (بدأ تحرك الإلكترونات بعد اكتسابها طاقة زائدة) وتشكل حقلا كهربائيا وتنطلق الإلكترونات من المادة شبه الموصلة أو السيليكون لتتجمع على شكل طاقة كهربائية، ينتج عنها كهرباء تيار مستمر (DC) كالكهرباء التي تنتج كيميائيا في

البطاريات، وبعد ذلك يتم تحويل هذه الكهرباء الكيمائية من تيار مستمر (DC) إلى تيار متناوب (AC) وهي الكهرباء المتداولة في حياتنا اليوم.

11-2-5-3-كفاءة الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة:

تم تحقيق رقم قياسي جديد لكفاءة الخلايا الشمسية الرقيقة بنسبة 22.3% سنة 2021 من خلال الحدود الشمسية (الكواكب والاقمار والنجوم والمجرات) التي تعد أكبر مزود للطاقة الشمسية في العالم. [14]

11-2-5-4-إيجابيات وسلبيات الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة:

إيجابياتها تتمثل فيما يلي:

✓ الإنتاج الضخم والبسيط. وهذا يجعلها أرخص في التصنيع من الخلايا الشمسية المصنوعة من بلورة السيليكون.

✓ مظهرها المتجانس يجعلها تبدو أكثر جاذبية.

✓ مرونتها، مما يفتح المجال للعديد من التطبيقات المحتملة الجديدة.

✓ تحملها وإنتاجها للطاقة في ظل درجات الحرارة العالية بالإضافة إلى أن الظل له تأثير أقل على أداء الألواح الشمسية.

وأما سلبياتها فتتمثل في:

• بشكل عام، الألواح الشمسية ذات الأغشية الرقيقة ليست مناسبة لتطبيقات المنشآت السكنية. صحيح أنها رخيصة، لكنها تتطلب أيضا مساحة كبيرة.

• تميل الألواح الشمسية ذات الأغشية الرقيقة إلى التحلل بشكل أسرع من الألواح الشمسية أحادية ومتعددة البلور، وهذا هو السبب في أنها تأتي عادة بضمان أقصر من ضمان الألواح الشمسية الأخرى.

11-3-الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية:

11-3-1- جهد الدارة المفتوحة V_{OC} :

جهد الدارة المفتوحة هو فرق الجهد بين طرفي الجهاز عندما تكون الدارة مفتوحة أي لا يوجد حمل كهربائي بالتالي لا يمر التيار في الدارة. [15]

11-3-2-تيار قصر الدارة I_{sc} :

هو تيار كبير جدا يمر فجأة على الدارة التي لا تستطيع تحمله، وبالتالي تقوم أضعف نقطة بفتح الدارة وسبب مرور هذا التيار الكبير جدا يعود إلى تلامس كابلين (سلكين) بينهما فرق جهد بشيء مقاومته صغيرة للغاية (قصر الدارة)، ويعني ذلك من قانون أوم أن التيار المار بالكابل سيكون كبير للغاية وهذا هو تيار القصر.

11-3-3-الاستطاعة الأعظمية P_{max} :

هي نقطة العمل التي تعطي الخلية الشمسية عندها أكبر استطاعة ممكنة. وتقاس الاستطاعة العظمى للخلية عمليا في حالة الظروف القياسية (Standard Test Condition STC) وتتمثل في (إشعاع شمسي $1000W/m^2$ ودرجة حرارة $25C^\circ$).

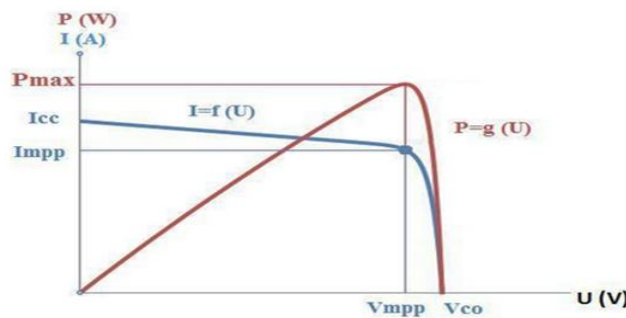
11-3-4-معامل الشكل FF :

هو معامل يعبر عن جودة الخلية الشمسية، وهو النسبة بين الاستطاعة القصوى (الاعظمية) والاستطاعة المثالية. [16]

11-3-5-كفاءة الخلية الشمسية η :

تعرف بأنها النسبة بين الاستطاعة القصوى التي تنتجها الخلية وقوة الاشعاع الشمسي الذي يصل إلى الخلية.

11-3-6-المنحنى المميز تيار جهد ($I-V$):



الشكل (16-1) المنحنى المميز تيار-جهد للخلية الشمسية في الظلام والضوء [17]

• يمثل المنحنى الأحمر منحنى الاستطاعة-جهد.

• يمثل المنحنى الأزرق منحنى تيار-جهد

12-آلية صنع الخلايا الشمسية السليكونية:

تصنع الخلايا الشمسية في الأساس من مادة السيليكون، وتبدأ عملية تصنيعها بالسيليكون شديد النقاوة، وبعد ذلك يسخن هذا السيليكون إلى درجة الانصهار. بعدها يضاف إليه عنصر البورون لتكوين شبه الموصل الموجب (*P-type*) والذي يحمل الشحنة الموجبة، ثم بعد ذلك يتم تشكيلها بصرة كتل باستخدام الصب أو الطرق ثم تقطع هذه الكتل إلى شرائح رقيقة باستخدام القاطعات السلكية الدقيقة، ثم تنظف وتوضع الألواح في أفران نشر للفسفور، حيث تنثر مادة الفسفور على أحد أسطح الرقائق لتكوين طبقة من أشباه الموصلات السالبة (*N-type*). ترش هذه الرقائق بطبقات عديدة من المواد الكيميائية التي تساهم في تقليل انعكاسية أشعة الشمس على الخلية، كما تقوم بعض الشركات المصنعة قبل ذلك بجعل سطح الرقاقة أكثر خشونة من أجل تقليل الانعكاس وزيادة المساحة التي تسقط عليها الأشعة. بعدها يتم طباعة موصلات كهربائية على الجزء السالب (العلوي) من الرقاق ويدهن ظهر الرقاقة بمادة الألمنيوم لزيادة متانة الخلية، وأخيرا تختبر الرقائق وتجمع على شكل ألواح شمسية وتوضع طبقات زجاجية خاصة لحماية الرقائق ولتقليل نسبة الانعكاس.



الشكل (1-17) يوضح كيفية تصنيع الخلايا الشمسية

13-ملحقات (مستلزمات) الخلية الشمسية:**13-1-الألواح الشمسية:**

تتكون الألواح الشمسية من مجموعة خلايا شمسية تعمل كمستقبلات لأشعة الشمس تتصل ببعضها البعض داخل إطار محدد، وتكون موصولة فيما بينها بالتوالي أو التوازي حيث تشكل الألواح الشمسية العنصر الأساسي في منظومة الطاقة الشمسية. تنتج هذه الخلايا تيار مستمر (DC) يمكن أن يستخدم لتشغيل بعض المعدات أو تخزينها في بطريات يعاد شحنها واستخدامها أكثر من مرة وتقاس قوة تلك الخلايا بوحدة الواط، فهناك لوحات صغيرة تبدأ من 5W أو 15W حتى تصل إلى ملايين من الواطات للأبنية الكبيرة والمصانع. [18]



الشكل (18-1) الألواح الشمسية

13-2-منظمات الشحن:

وهي أجهزة إلكترونية تقوم بتنظيم الجهد الكهربائي الوارد من الخلايا بنقله إلى البطاريات ومن ثم إلى الحمل الكهربائي وذلك للمحافظة على البطاريات المستخدمة والتأكد من شحنها واستخدامها بصورة أمثل. وتتمثل وظائفها فيما يلي:

✚ تنظيم شحن البطاريات بمعنى السماح بالشحن الكامل دون الوصول إلى حالة الشحن الزائد

✚ تنظيم الجهد الكهربائي الوارد من الألواح قبل مروره إلى البطاريات.

✚ حماية الأنواع القديمة للألواح من التلف وذلك بمنع مرور التيار الكهربائي بشكل عكسي من بطاريات النظام إلى الألواح في المساء (حيث في الظلام تعتبر الخلية كحمل مستهلك

للطاقة). وبالنسبة للنوعيات الحديثة من الخلايا الجيدة فمن المعلوم أنها تحتوي على دايود يحميها من هذا التيار العكسي على أي حال.

✚ فصل التيار الكهربائي عن البطاريات عند وصولها إلى حدودها الدنيا من التخزين هذه

الخاصية يطلق عليها *Low Voltage Disconnect (LVD)*.

✚ يحمي النظام من التيارات الكهربائية الزائدة أو الناقصة أو المتقلبة بفضل احتواءه على فيوزات (صمامات) ودوائر خاصة لذلك.

✚ يعمل كنظام مراقبة عن طريق المقاييس المستخدمة فيه بحيث يمكن أن يعطي ضوء إنذار عند حالات العمل غير النظامية.

13-3-البطاريات:

وظيفة تخزين الطاقة الكهربائية التي ولدتها الألواح أثناء سطوع الشمس في ساعات النهار وتستخدم بطارية الطاقة الشمسية هذه الطاقة الكهربائية المخزنة أثناء فترة غياب الشمس بالمساء كما تستخدم في معظم النظم، كما تقوم بطارية شحن الطاقة الشمسية على تفريغ شحناتها طوال الليل وتستطيع أن تقوم بعملية الشحن في وقت طويل وبتيار منخفض وكذلك تستطيع تفريغ الشحن في وقت طويل.

13-4-العواكس:

وهي نوع من الأجهزة الكهربائية التي تحول التيار المستمر الذي يتولد من الألواح الشمسية إلى تيار المتناوب (التردد) (AC) الذي يمكن تغذيته إلى الشبكة الكهربائية أو استخدامه بشكل محلي لتغذية حمل كهربائي (دائرة كهربائية بها طرف لتوصيل مكون كهربائي آخر، ويكون هذا المكون عبارة عن دائرة كهربائية متصلة بهذا الطرف) منفصل عن الشبكة (مثل: المنازل أو المصانع أو المزارع أو آبار المياه في المناطق النائية التي لا تصلها الشبكة الكهربائية).

تعتبر العواكس الشمسية من المكونات المهمة لاستقرار أنظمة الطاقة الشمسية الكهربائية حيث يسمح بتشغيل الأحمال الكهربائية التي تعمل بنظام التيار المتناوب، ولها دور مهم في استمرار تزويد أنظمة التوليد اللامركزية مثل أنظمة الألواح الشمسية إلى الشبكة الكهربائية في حال انقطاع التيار من المزود الرئيسي للشبكة بسبب عطل أو لأعمال صيانة أو توسعة للشبكة الكهربائية، ودور آخر في تتبع نقطة القدرة القصوى.



الشكل (19-1) يوضح ملحقات (مستلزمات) الخلايا الشمسية

14-مميزات وسلبيات الخلايا الشمسية:

تتعدد مزايا الخلايا الشمسية ومن أهمها ما يلي:

- ✓ مصدر للطاقة المتجددة.
- ✓ الحد من استهلاك الكهرباء وتقليل الفواتير.
- ✓ تحافظ على البيئة من التلوث.
- ✓ طاقة طويلة الأجل.
- ✓ استخدامها في التطبيقات المتنوعة.
- ✓ انخفاض تكاليف الصيانة.
- ✓ تطوير التكنولوجيا.

وكما أن للخلايا الشمسية مميزات فذلك لها سلبيات وهي كما يلي:

- عدم تلبية الاحتياجات الداخلية (من الصعب استغلال الخلايا الشمسية في الظل).
- ارتفاع التكلفة.
- الطاقة موسمية وتعتمد على الطقس.
- تخزين الطاقة الشمسية باهظ الثمن.
- تحتاج إلى مساحة كبيرة من الفضاء.

الخلاصة

تطرقنا في فصلنا هذا إلى دراسة عامة لنظرية مبسطة عن الخلايا الشمسية ومعظم المفاهيم المرتبطة بها وكذلك سلطنا الضوء على الخصائص المميزة للخلية الشمسية. كما ركزنا على نوع من أنواع الخلايا الشمسية ألا وهو الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة.

الفصل الثاني

التعرف على برنامج Afors-

het

تمهيد

في هذا الفصل سوف نتعرف على برنامج (Afors-het) وكيفية استخدام هذا البرنامج. يتضمن (Afors) مجموعة واسعة من الدراسات المتكاملة حيث يقوم بمحاكاة عداديه للخلايا والقياسات الشمسية.

1-المحاكاة:**1-1-تعريفها:**

هي عملية إنشاء برنامج كمبيوتر أو نموذج يحاكي أو يكرر سيناريوهات أو عمليات العالم الحقيقي، الغرض من المحاكاة هو اختبار الفرضيات والتنبؤ بالنتائج أو تقييم آثار التغييرات في بيئة خاضعة للرقابة. تستخدم بشكل شائع في مجالات مثل العلوم والهندسة والاقتصاد والعلوم الاجتماعية.

تتضمن المحاكاة إنشاء نموذج رياضي أو منطقي لنظام أو عملية وتشغيلها على جهاز كمبيوتر، وقد يعتمد النموذج على القوانين الفيزيائية أو البيانات الإحصائية أو كليهما، ثم يقوم برنامج المحاكاة بتوليد النتائج بناء على المدخلات والافتراضات التي تم إجراؤها في النموذج. بشكل عام، تعد المحاكاة أداة قوية لفهم وتحليل الأنظمة والعمليات المعقدة في بيئة آمنة وخاضعة للرقابة.

1-2-مفاهيم أساسية في محاكاة الخلية:

-نطاق التكافؤ: هو نطاق مدارات الإلكترون التي يمكن للإلكترونات القفز منها والانتقال إلى نطاق التوصيل عند الإثارة.

-نطاق التوصيل: هو نطاق مدارات الإلكترون التي يمكن للإلكترونات القفز إليها من نطاق التكافؤ عند الإثارة.

-مستوى فيرمي: يعرف أعلى مستوى طاقة يمكن أن يشغله الإلكترون عند درجة حرارة الصفر المطلق بمستوى فيرمي. يقع مستوى فيرمي بين نطاق التكافؤ ونطاق التوصيل لأنه عند درجة حرارة الصفر المطلق تكون الإلكترونات كلها في أدنى حالة طاقة.

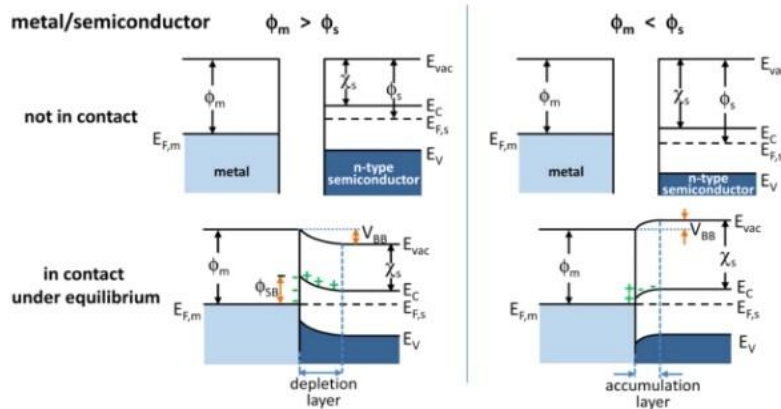
طاقة فيرمي: هي مفهوم في ميكانيك الكم يشير عادة إلى فرق الطاقة بين أعلى وأدنى حالات الجسيم المفرد المشغولة في نظام كمي من الفرميونات غير المتفاعلة عند درجة حرارة الصفر المطلق للذرة أو الجزيء (E_{ea}) .

تقارب الإلكترون: يعرف على أنه مقدار الطاقة المنبعثة عندما يرتبط الإلكترون بذرة أو جزيء محايد لتكوين أنيون: $x(g) + \bar{e} \rightarrow \bar{x} + energy$. هذا يختلف حسب الإشارة عن تغير الطاقة في تأين النقاط الإلكترونية يكون تقارب الإلكترون موجبا عندما يتم إطلاق الطاقة عند التقاط الإلكترون.

وظيفة الشغل: يسمى الحد الأدنى من الطاقة المطلوب توفيرها للإلكترون لسحبه من المعدن من السطح بوظيفة عمل المعدن.

فجوة النطاق: هي المسافة بين نطاق تكافؤ الإلكترونات ونطاق التوصيل.

مخطط النطاق: يساعد مخطط النطاق على شرح تشغيل أجهزة أشباه الموصلات، إنه رسم تخطيطي حيث يتم رسم مستويات طاقة الإلكترون الرئيسية المختلفة كدالة لبعض الأبعاد المكانية.

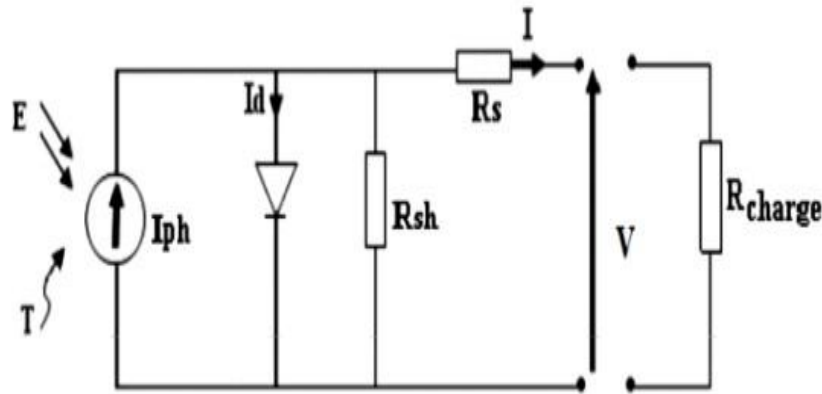


الشكل (1-2) مستويات طاقة الإلكترون الرئيسية

1-3-1- الدارة المكافئة لخلية شمسية كهروضوئية ومحدداتها:

1-3-1- محاكاة خلية شمسية بديود واحد أو صمام ثنائي:

إن عمل الخلايا الشمسية يوافق ويكافئ دائرة كهربائية بديود واحد كما يبين الشكل (2-2) تواجه حاملات الشحنة في مواد الخلية الشمسية وفي الأسلاك الناقلة مقاومة كهربائية تمثل بالمقاومة التسلسلية وتمثل العيوب الموجودة في المواد المكونة للخلية الشمسية بالمقاومة التفرعية. عمليا يكون لهاتين المقاومتين قيمة معينة تتعلق بالمواد المستعملة وبطريقة التصنيع



الشكل (2-2) الدارة المكافئة لخلية شمسية

نحبر عن التيار المار داخل الخلية بالعلاقة التالية: [19]

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1-2)$$

حيث:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V+I \cdot R_s)}{aKT} \right) - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (2-2)$$

R_{sh} : مقاومة تفرعية تفسر التيار الضائع داخل الخلية (العيوب)

R_s : مقاومة المواد وأسلاك التوصيل التسلسلية

I_{ph} : التيار الضوئي

I : التيار المار في المقاومة التسلسلية

I_d : التيار المار في الديود

I_{sh} : التيار المار في المقاومة التفرعية

k : ثابت بولتزمان $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

q : شحنة الالكترين $q = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

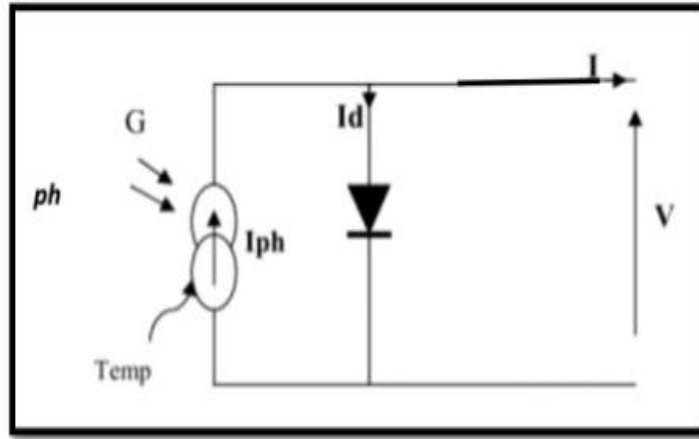
T : درجة الحرارة المطلقة للخلية (K°)

V : الجهد في الخلية (V)

2-3-1- دارة مثالية مكافئة لخلية شمسية:

تتكون الدارة المثالية المكافئة للخلية الشمسية من ديود واحد بإهمال المقاومتين كما هو موضح في

الشكل (3-2)



الشكل (3-2) الدارة المثالية المكافئة للخلية الشمسية

نحبر عن التيار المار داخل الخلية بالعلاقة التالية:

$$I = I_{ph} - I_d \quad (3-2)$$

ونحصل عليه عندما لا يمر تيار عبر الخلية، أي بجعل التيار معدوما في المعادلة (1-)، وبالتالي نجد أن:

$$V_{OC} = V_{th} \cdot \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (4-2)$$

V_{th} : الجهد الترموديناميكي

العلاقة التي تبين كيفية حساب التيار الكبير المار في الدارة وهو تيار القصر

$$I_{SC} = \frac{I_{ph}}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}}} \quad (5-2)$$

العلاقة التي تبين لنا حساب الاستطاعة الاعظمية والتي تعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{max} = I_m \times V_m \quad (7-2)$$

بالنسبة لخلية شمسية مثالية فإن الاستطاعة تعطى بالعلاقة التالية:

$$P_{max\ ideal} = I_{sc} \times V_{OC} \quad (8-2)$$

العلاقة التي تبين لنا حساب معامل الشكل وهي كالتالي:

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{max\ ideale}} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (9-2)$$

العلاقة التي تبين لنا حساب كفاءة الخلية الشمسية (المردود):

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{M} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{M} \quad (10-2)$$

حيث M تمثل القدرة الكلية للضوء الداخل للخلية.

2- نظرة عامة عن (Afors-het):

يعتمد (Afors-het) على طريقة العناصر المحدودة ويستخدم نموذجاً ثنائي الأبعاد لمحاكاة سلوك الخلية الشمسية. يأخذ البرنامج في الاعتبار نطاقاً واسعاً من المعلومات، بما في ذلك الخصائص المادية للخلية وظروف الإضاءة وهندسة الجهاز. تتمثل إحدى الميزات الرئيسية للبرنامج في قدرته على نمذجة السلوك التفصيلي لحاملات الشحن داخل الخلية الشمسية، كما يسمح هذا البرنامج بالتنبؤ بدقة بأداء الخلية في ظل ظروف تشغيل مختلفة.

بشكل عام تعد حزمة برامج Afors-het قوية ومرنة لمحاكاة أداء الخلايا الشمسية غير المتجانسة، وهي أداة قيمة للباحثين والمهندسين العاملين في مجال الخلايا الكهروضوئية.

3- تعريفات:

1-3 تعريف (Afors):

هو عبارة عن حزمة برامج تستخدم لمحاكاة أداء الخلايا الشمسية. إنه مصمم خصيصاً لنمذجة سلوك الخلايا الشمسية غير المتجانسة، وهي نوع من الخلايا الشمسية التي تجمع بين مواد مختلفة مع فجوات نطاق مختلفة لتحسين كفاءة الخلية.

2-3 تعريف (Afors-het):

هو برنامج كمبيوتر رقمي أحادي البعد لنمذجة الخلايا الشمسية متعددة الطبقات المتجانسة أو الغير متجانسة بالإضافة إلى بعض طرق توصيف الخلايا الشائعة. وتنقسم الخلايا الشمسية من حيث المحاكاة إلى قسمين:

- ❖ **محاكاة ضوئية:** يتم خلالها حساب معدل التوليد المحلي $G(x;t)$ داخل الخلية الشمسية، أي عدد الحاملات الزائدة (الالكترونات والثقوب) التي يتم انشاءها في الثانية الواحدة ولكل وحدة حجم في الوقت t عند الوضع x في الخلية الشمسية بسبب امتصاص الضوء.
- ❖ **محاكاة كهربائية:** تحسب كثافة الالكترون والجسيمات المحلية $n(x)$ والكمون الكهربائي المحلي $P(x;t)$ داخل الخلية الشمسية.

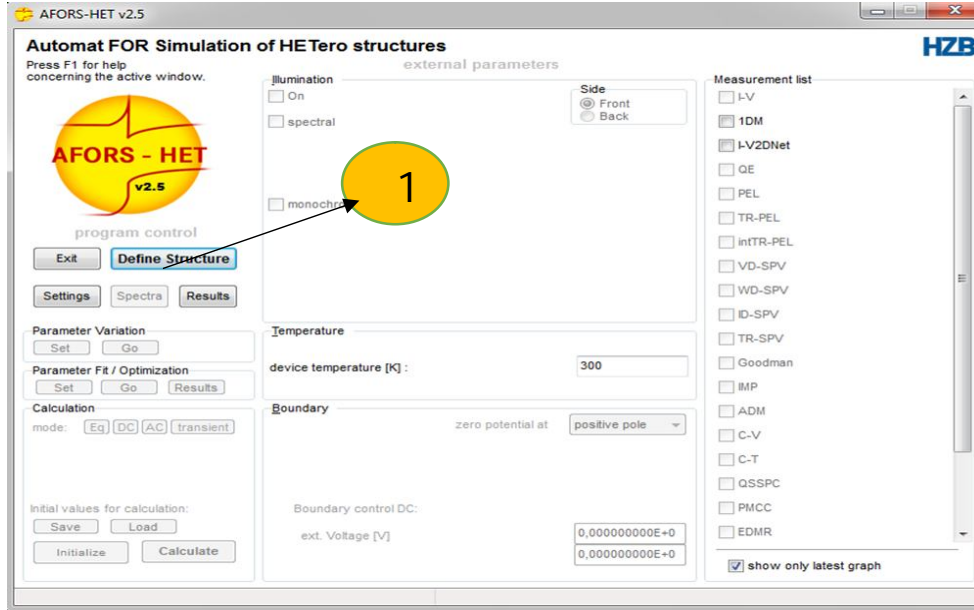


الشكل (2-4) أيقونة برنامج Afors-het

4-محاكاة بنية خلية شمسية ببرنامج AFORS-HET:

يعمل برنامج AFORS-HET على تسهيل عمل محاكاة الخلية الشمسية حيث لا يمكننا رؤية سلوك وحركة الفوتونات الضوئية الناتجة عن أشعة الشمس، ولتوضيح كيفية عمل هذا البرنامج نقوم بالخطوات التالية:

بمجرد فتح البرنامج تظهر لنا نافذة الشكل (5-2):



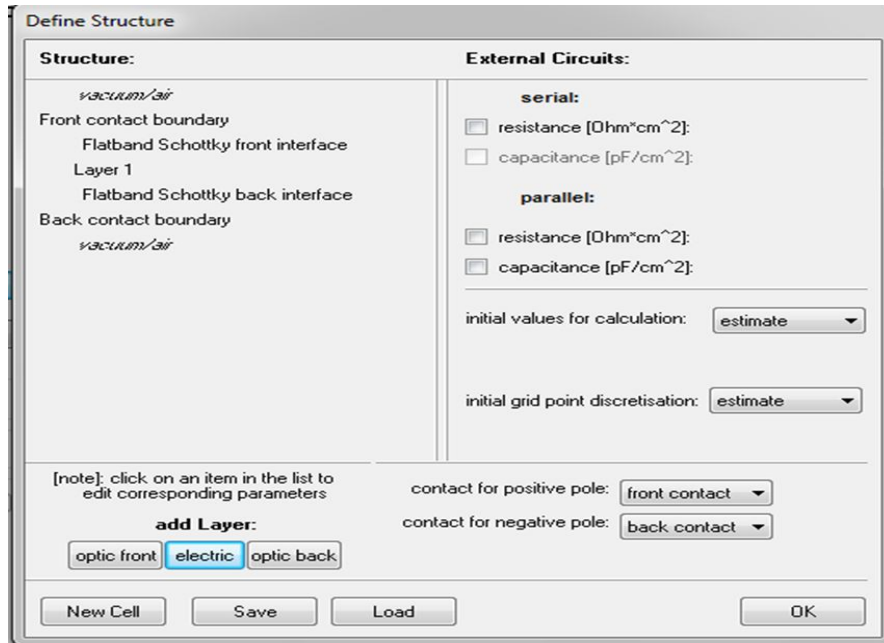
الشكل (5-2) تحديد بنية الخلية الشمسية

تحتوي هذه النافذة، الشكل (5-2) على:

1-4-التعليمة رقم 01: Défini structure

تسمح لنا هذه التعليمة وتمكننا من تصميم الخلية الشمسية المراد دراستها. عند الضغط على هذه

التعليمة تظهر لنا نافذة على الشكل (6-2)



الشكل (6-2) نافذة Défini structure

4-1-1-1-4-تحديد المقاومات:

في الجهة اليمنى من النافذة نلاحظ تعليمات تسمح لنا باختيار قيم المقاومة التسلسلية والتفرعية. ملاحظة: يمكن إضافة سعة مع المقاومة التفرعية.

4-1-1-2-4-تحديد الطبقات:

في الجهة اليسرى من النافذة نقوم بالضغط على Layer 1 لتحديد خصائص الطبقة الأولى المكونة للخلية الشمسية المراد دراستها. ولتحديد خصائص الطبقة الأولى لدينا حالتين: أ-إذا كانت الطبقة الأولى موجودة في قاعدة بيانات البرنامج نضغط على التعليمة Load. ب-إذا كانت الطبقة Layer 1 غير موجودة في قاعدة بيانات البرنامج نقوم بالخطوات التالية: -نضغط على Layer 1 تظهر النافذة Layer 1 وتظهر لنا خصائص الطبقة القياسية (Standard). نقوم بتعديل هذه الخصائص وتغييرها وفق الطبقة المدروسة (تعديل الاسم name، السمك thickness، ثم نغير قيم الخصائص)

-نضغط على (OK)

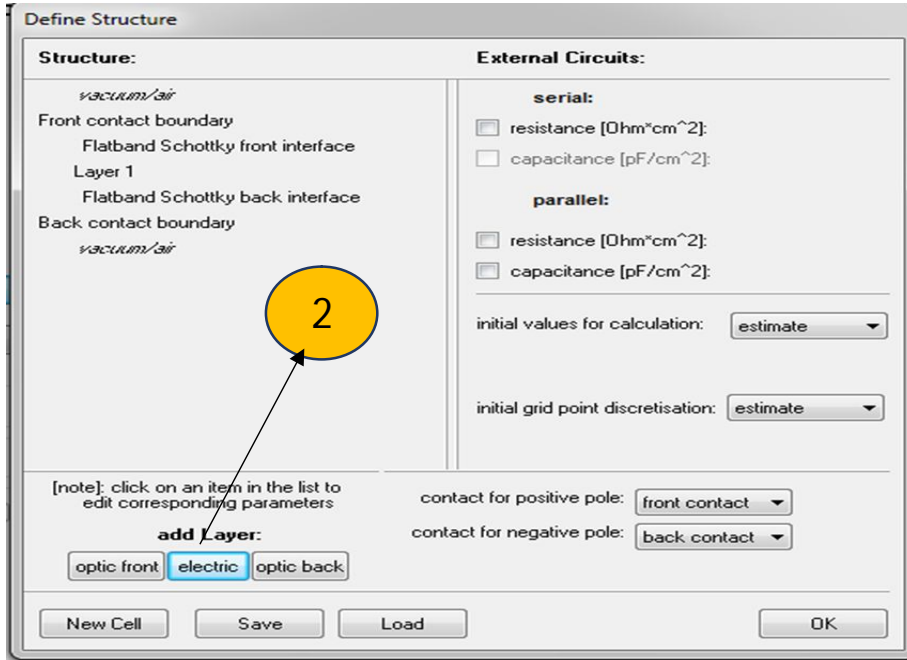
ملاحظة:

✓ إذا أردنا الاحتفاظ بخصائص الطبقة Layer 1 نضغط على التعليمة Save ونحفظ هذه الطبقة في ملف.

✓ إذا أردنا حذف الطبقة Layer 1 من البنية نضغط على Delete.

نلاحظ في الشكل (2-6) التعليمة (2) (electric) نضغط عليها حتى نتمكن من إضافة الطبقة الثانية للخلية الشمسية.

بنفس الطريقة نقوم بتحديد الطبقة الثانية.



الشكل (7-2) إضافة طبقة

ملاحظة:

✓ إذا أردنا تحميل بنية خلية محفوظة سابقا نضغط على التعليمة Load الموجودة في أسفل

نافذة Défini structure

✓ إذا أردنا حفظ بنية خلية كاملة نضغط على التعليمة Save الموجودة في أسفل نافذة

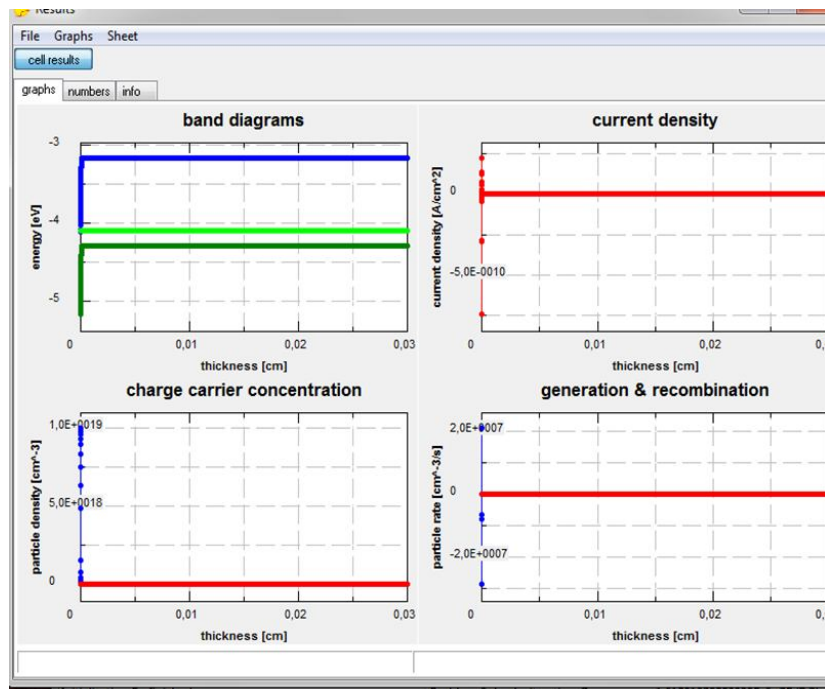
Défini structure

✓ إذا أردنا إضافة خلية جديدة نضغط على التعليمة New Cell الموجودة في أسفل نافذة

Défini structure

عند الانتهاء من كل الخطوات نضغط على (OK)

بعد ظهور المخطط الشكل (8-2) نغلق المخطط.



الشكل (8-2) المخططات البيانية

نعود إلى النافذة الأولى الشكل (2-5) التي تسمح لنا باختيار نوع المحاكاة

أ-محاكاة في الظلام: لا يوجد إضاءة.

ب-محاكاة في الإضاءة: يمكن أن نختار نوع الإشعاع المراد دراسته (إشعاع شمسي Spectral أو إشعاع أحادي الطول الموجي monochromatic). قبل الضغط على On نختار التيار المستمر DC، ثم نختار درجة الحرارة، وبعد ذلك نختار ضمن قائمة القياسات نوع الحساب المراد حسابه.

الخلاصة:

في هذا الفصل قدمنا وصفا تفصيليا لبرنامج **AFORS-HET**، حددنا فيه هياكل البرنامج وأدواته وقدراته على إيجاد جميع المعلومات الداخلية والخارجية المتعلقة بالجهاز المدروس (الخلية الشمسية).

الفصل الثالث : تحليل

النتائج ومناقشتها

تمهيد

في هذا الفصل سوف نعرض على الخلية الشمسية المستعملة من نوع CdTe، حيث سنستعرض مكوناتها في البرنامج والثوابت الفيزيائية المستعملة في كل طبقة، كما سنتطرق فيه إلى تحليل النتائج المتحصل عليها بعد إجراء عملية المحاكاة بواسطة برنامج AFORS-HET

1-تحليل النتائج ومناقشتها:

1-1-تحديد بنية الخلية الشمسية من النوع $\text{SnO}_2/\text{CdS}/\text{CdTe}$:

تتكون الخلية الشمسية المراد دراستها في هذا العمل من خلية تحتوي على ثلاثة طبقات، الطبقة الأولى من مادة أكسيد القصدير (SnO_2) وهي تمثل الطبقة الشفافة، الطبقة الثانية من مادة كبريت الكاديوم (CdS) وهي تمثل الطبقة من نوع n، أما الطبقة الأخيرة فهي من مادة CdTe وهي تمثل الطبقة p كما يظهر في الشكل (1-3).

SnO_2	
CdS	
CdTe	

الشكل (1-3) بنية الخلية الشمسية ($\text{SnO}_2/\text{CdS}/\text{CdTe}$)

الجدول يبين الثوابت الفيزيائية المتعلقة بكل طبقة للخلية (SnO₂/CdS/CdTe):

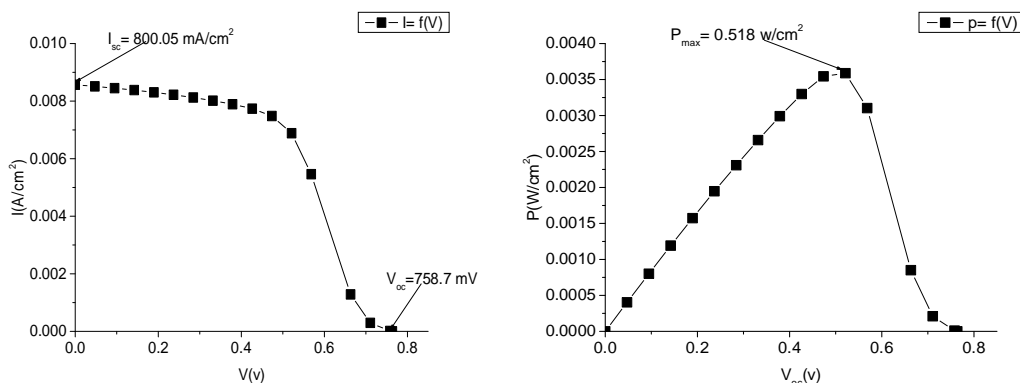
الجدول (1-3): الثوابت الفيزيائية المستعملة لمحاكاة الخلية الشكل (1-3)

		CdS	CdTe
e (μ.m)	0.5	0.025	8.18
			2-
	3.6	2.4	1.5
X (ev)	4	4	3.9
	9	10	9.4
			8
			7
	0	0	2
			0

يبين الجدول (2-3) مميزات الخلية الشمسية للطبقة الماصة CdTe تحت درجة حرارة 300k
وسمك الطبقة 2μm ومقاومة تسلسلية $R_s = 5\Omega$ ومقاومة تفرعية $R_{sh} = 1E30$:

الجدول (2-3) مميزات الخلية الشمسية للطبقة الماصة CdTe

$V_{oc}(mV)$	$I_{sc}(mA/cm^2)$	FF%	Eff%
763.8	8.56	55.14	3.60



الشكل (2-3) يمثل منحنى المميز تيار-جهد للخلية الشمسية الشكل (1-3) الشكل (3-3) منحنى الاستطاعة للخلية الشمسية الشكل (1-3)

2-1- تأثير سمك الطبقة الماصة CdTe في الخلية (SnO₂/CdS/CdTe) على خصائص الخلية:

سندرس في هذا العمل تأثير تغير سمك الطبقة الماصة CdTe على مخرجات الخلية المتمثل في جهد الدارة المفتوحة V_{oc} ، تيار الدارة القصيرة I_{sc} ، معامل الشكل FF، الكفاءة (المردود) η للخلية الشمسية المراد دراستها الشكل (1-3)، وذلك تحت درجة حرارة $T=300K$ ، ومقاومة

تسلسلية $R_s = 5\Omega$ ومقاومة تفرعية $R_{sh} = 1E30$:

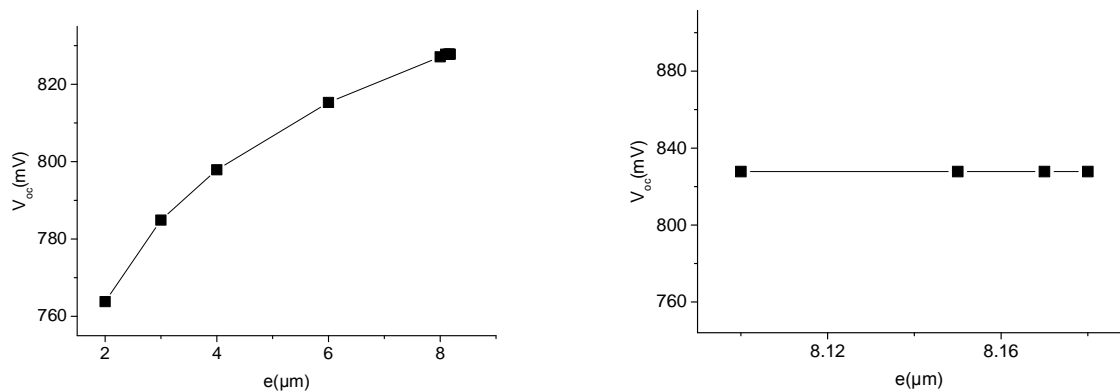
2-1-1- تأثير سمك الطبقة CdTe في الخلية (SnO₂/CdS/CdTe) على جهد الدارة المفتوح وتيار الدارة القصير:

الجدول (3-3) نتائج محاكاة الخلية الشمسية الشكل (1-3)

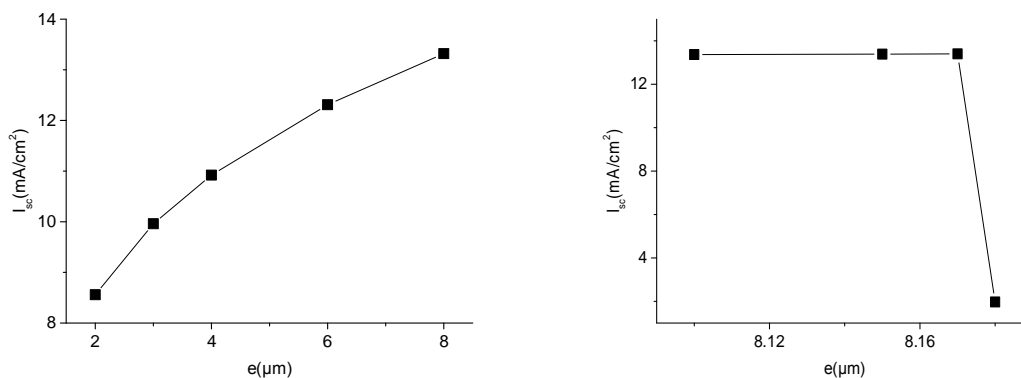
$e(\mu\text{m})$	$V_{oc}(\text{mV})$	$I_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	$ff(\%)$	$\text{eff}(\%)$	$P_{max}(\text{W})$
2	763.8	8.56	55.14	3.60	
3	784.9	9.96	55.51	4.34	
4	797.9	10.92	56.12	4.88	
6	815.3	12.31	56.73	5.69	
8	827.1	13.32	56.97	6.27	
8.1	827.8	13.37	56.96	6.30	
8.15	827.8	13.39	56.98	6.31	
8.17	827.8	13.4	56.99	6.32	
8.18	827.8	1.97	7.94	1.29	

يظهر الشكل (4-3) منحنى تغيرات جهد الدارة المفتوح لخلية شمسية الشكل (1-3) وهذا بعد تغيير سمك الطبقة في كل مرة من $2\mu\text{m}$ إلى $8.18\mu\text{m}$ باستعمال برنامج AFORS-HET مع ثبوت في درجة الحرارة عند (300K) ومقاومة تسلسلية $R_s = 5\Omega$ ومقاومة تفرعية $R_{sh} = 1E30$ ، يبين المنحنى أن تغيير سمك الطبقة CdTe له تأثير كبير على قيم جهد الدارة

المفتوح. حيث نلاحظ تزايد لقيم جهد الدارة المفتوح V_{oc} من السمك $2\mu\text{m}$ إلى $8\mu\text{m}$ ثم ثباتها عند السمك $e=8.1\mu\text{m}$ ونسجل قيمة $V_{oc} = 827.8\text{mV}$ كما تظهر في الجدول (3-3). يظهر الشكل (5-3) منحنى تغيرات تيار قصر الدارة لخلية شمسية الشكل (1-3) وهذا بعد تغيير سمك الطبقة في كل مرة من $2\mu\text{m}$ إلى $8.18\mu\text{m}$ باستعمال برنامج AFORS-HET مع ثبوت في درجة الحرارة عند (300K) ومقاومة تسلسلية $R_s = 5\Omega$ ومقاومة تفرعية $R_{sh} = 1E30$ ، يبين المنحنى أن تغيير سمك الطبقة CdTe له تأثير كبير على قيم جهد الدارة المفتوح. حيث نلاحظ تزايد لقيم تيار قصر الدارة من السمك $2\mu\text{m}$ إلى $8\mu\text{m}$ ومن السمك $8.1\mu\text{m}$ إلى $8.17\mu\text{m}$ نلاحظ ثبات لقيمة تيار قصر الدارة ثم تناقصها عند السمك $8.18\mu\text{m}$ ونسجل أعلى قيمة عند السمك $e=8.17\mu\text{m}$ وتساوي $I_{sc} = 13.37\text{mA}/\text{cm}^2$ كما تظهر في الجدول (3-3).



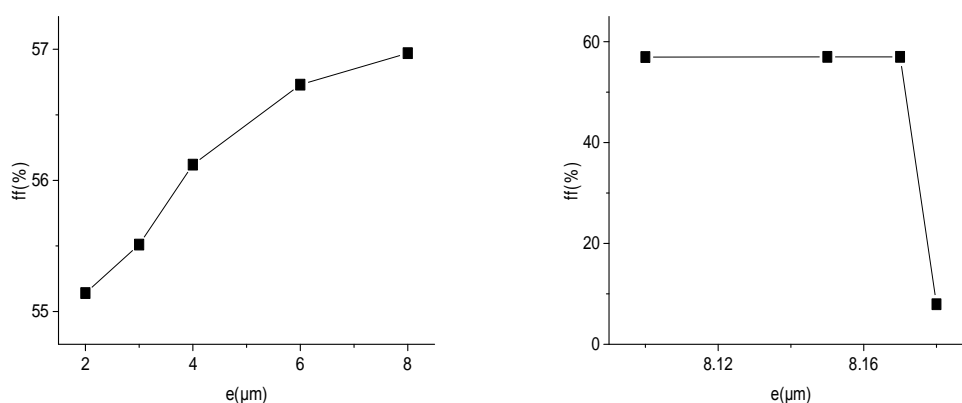
الشكل (4-3) منحنى تغيرات جهد الدارة المفتوح لخلية شمسية الشكل (1-3) من أجل قيم مختلفة من السمك



الشكل (3-5) منحنى تغيرات تيار الدارة القصير لخلية الشكل (3-1) من أجل قيم مختلفة من السمك

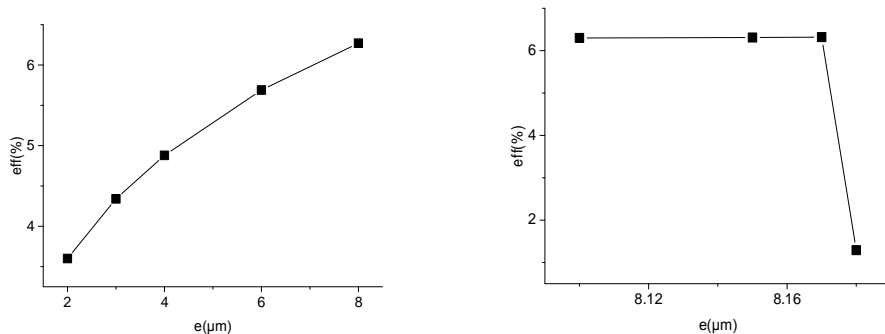
1-2-2-2 تأثير سمك الطبقة CdTe في الخلية (SnO₂/CdS/CdTe) على معامل الشكل والكفاءة (المردود):

الشكل (3-6) يبين منحنى تغيرات معامل الشكل لخلية شمسية الشكل (3-1) وهذا بعد تغيير سمك الطبقة في كل مرة من 2 μm إلى 8.18 μm، من المنحنى نلاحظ أن سمك الطبقة CdTe لها تأثير على تغير قيم معامل الشكل الخلية (SnO₂/CdS/CdTe). حيث يظهر المنحنى أنه بزيادة سمك الطبقة تترادف قيم معامل الشكل من السمك 2 μm إلى 8 μm ومن السمك 8.1 μm إلى 8.17 μm نلاحظ ثبات لقيم معامل الشكل ثم تناقصها عند السمك 8.18 μm ونسجل أعلى قيمة عند السمك e=8.17 μm وتساوي $ff = 56.99\%$ كما تظهر في الجدول (3-3).



الشكل (3-6) منحنى تغيرات معامل الشكل لخلية شمسية الشكل (3-1) من أجل قيم مختلفة من السمك

يبين الشكل (7-3) يبين منحنى تغيرات مردود (eff) الخلية شمسية الشكل (1-3) وهذا بعد تغيير سمك الطبقة في كل مرة من $2\mu\text{m}$ إلى $8.18\mu\text{m}$ ، يبين المنحنى أن سمك الطبقة CdTe لها تأثير على تغير قيم معامل الشكل الخلية الشكل (1-3). حيث يظهر المنحنى أنه بزيادة سمك الطبقة تتزايد قيم المردود من السمك $2\mu\text{m}$ إلى $8\mu\text{m}$ ومن السمك $8.1\mu\text{m}$ إلى $8.17\mu\text{m}$ نلاحظ ثبات لقيم مردود الخلية الشكل (1-3) ثم تناقصها عند السمك $8.18\mu\text{m}$ ونسجل أعلى قيمة عند السمك $e=8.17\mu\text{m}$ وتساوي $eff = 6.32\%$ كما تظهر في الجدول (3-3). نستنتج أنه أحسن سمك تسجل فيه الخلية الشمسية الشكل (1-3) أحسن مردود هو السمك $e=8.17\mu\text{m}$

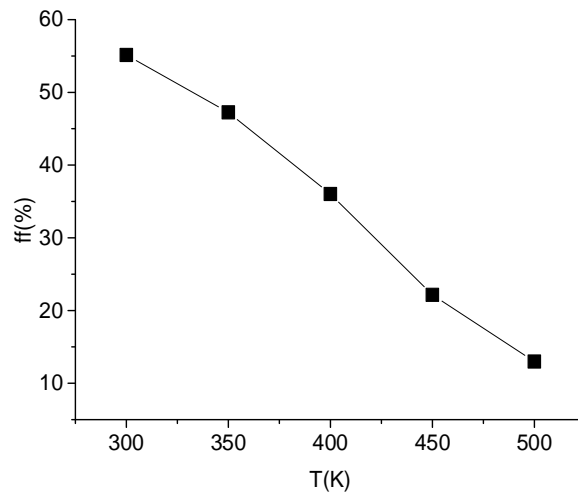


الشكل (7-3) منحنى تغيرات مردود الخلية الشكل (1-3) من أجل قيم مختلفة من السمك

3-1- تأثير درجة الحرارة على كل من معامل الشكل ومردود الخلية

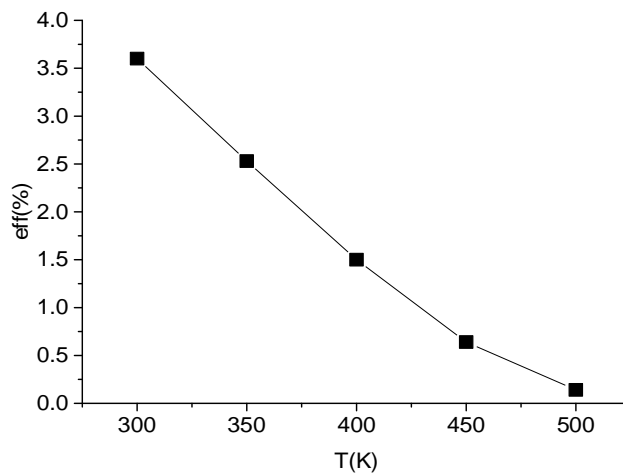
الشمسية ($\text{SnO}_2/\text{CdS}/\text{CdTe}$):

الشكل (8-3) يظهر منحنى تغيرات معامل شكل الخلية الشمسية الشكل (1-3) وهذا بعد تغيير درجات الحرارة في كل مرة من 300k إلى 500k ، من المنحنى نلاحظ أن التغير في درجات الحرارة له تأثير كبير على قيم معامل شكل الخلية الشكل (1-3). حيث أنه بزيادة درجة الحرارة نلاحظ تناقص مستمر لقيم معامل الشكل ff .



الشكل (8-3) منحنى تأثير تغير درجة الحرارة على معامل شكل الخلية من النوع CdTe

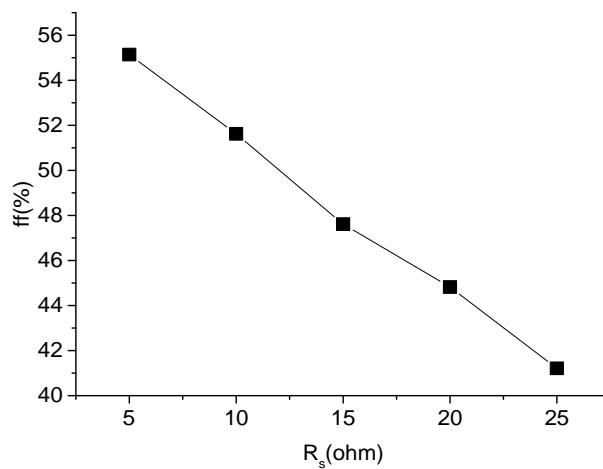
الشكل (9-3) يظهر منحنى تغيرات مردود الخلية الشمسية الشكل (1-3) وهذا بعد تغيير درجات الحرارة في كل مرة من 300k إلى 500k، من المنحنى نلاحظ أن الارتفاع في درجات الحرارة له تأثير سلبي على مردود الخلية الشمسية الشكل (1-3). حيث أنه بزيادة درجة الحرارة نلاحظ تناقص مستمر لقيم المردود. نستنتج أن الخلية الشمسية الشكل (1-3) تعمل في درجة حرارة منخفضة (T=300k).



الشكل (9-3) منحنى تأثير تغير درجة الحرارة على مردود الخلية من النوع CdTe

4-1- تأثير المقاومة التسلسلية على معامل الشكل ومردود الخلية الشمسية:

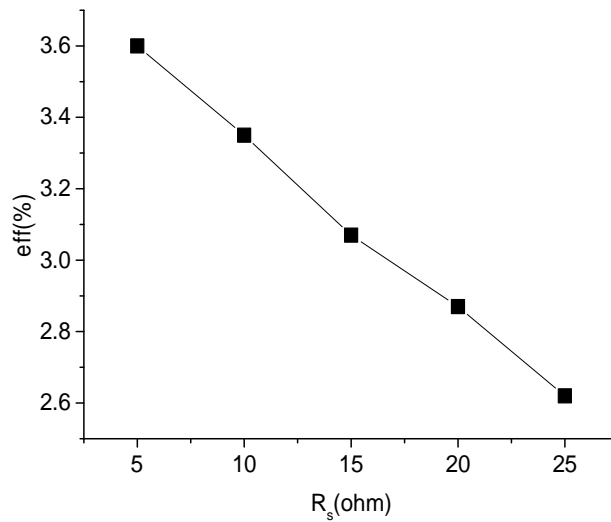
الشكل (10-3) يبين منحنى تغيرات معامل الشكل للخلية الشمسية الشكل (1-3)، وهذا بعد التغيير في قيم المقاومة التسلسلية R_s كل مرة من 5Ω إلى 25Ω عند $(300K)$ وسمك الطبقة $e=2\mu m$ ، يبين المنحنى أن التغيير في المقاومة التسلسلية له تأثير على قيم معامل الشكل الخلية. حيث أنه بزيادة قيم المقاومة نلاحظ تناقص مستمر لمعامل الشكل للخلية الشكل (1-3).



الشكل (10-3) منحنى تأثير تغيرات المقاومة التسلسلية R_s على معامل شكل الخلية الشكل (3-1)

(1)

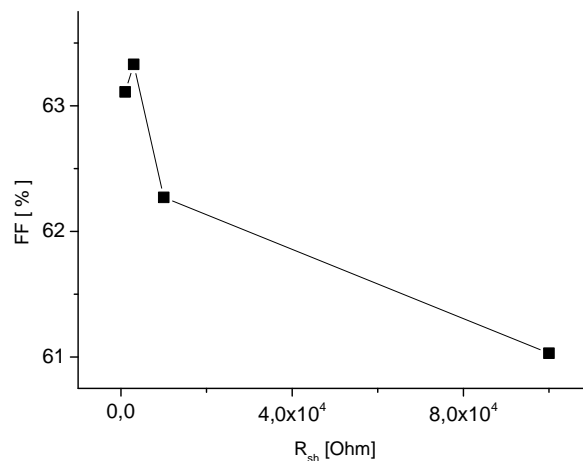
الشكل (11-3) يبين منحنى تغيرات مردود الخلية الشمسية الشكل (1-3)، وهذا بعد التغيير في قيم المقاومة التسلسلية R_s كل مرة من 5Ω إلى 25Ω وبثبوت درجة الحرارة عند $(300K)$ ، من المنحنى نلاحظ أن التغيير في المقاومة التسلسلية له تأثير على قيم مردود الخلية. حيث أنه بزيادة قيم المقاومة نلاحظ تناقص مستمر للمردود للخلية الشكل (1-3). نستنتج أن الخلية الشمسية الشكل (1-3) لا تعمل إلا في المقاومات التسلسلية الصغيرة.



الشكل (11-3) منحنى تأثير تغيرات المقاومة التسلسلية R_S على مردود الخلية الشمسية الشكل (1-3)

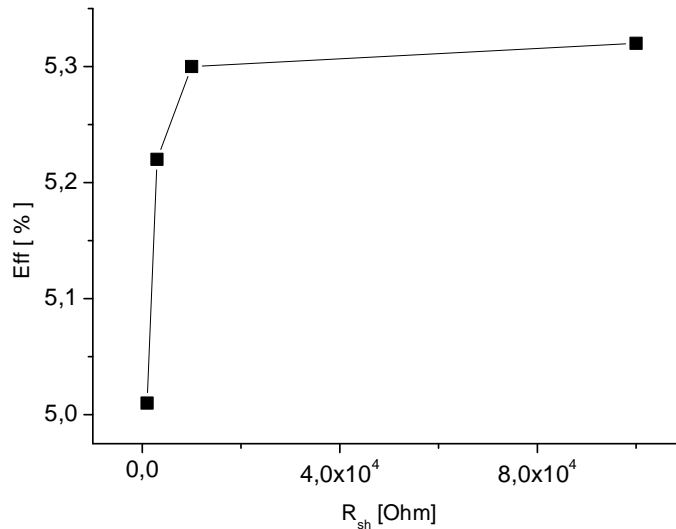
1-5- تأثير المقاومة التفرعية على كل من معامل الشكل ومردود الخلية:

الشكل (12-3) يوضح منحنى تغيرات تأثير المقاومة التفرعية R_{Sh} على معامل الشكل الخلية الشمسية الشكل (1-3)، نلاحظ من المنحنى أن المقاومة التفرعية لها تأثير سلبي على قيم معامل شكل الخلية الشكل (1-3) حيث أنه بزيادة قيم المقاومة نلاحظ تناقص ثم ثبات لقيم معامل الشكل



الشكل (12-3) منحنى تأثير تغيرات المقاومة التفرعية R_{Sh} على معامل شكل الخلية الشمسية الشكل (1-3)

الشكل (3-13) يوضح منحنى تغيرات تأثير المقاومة التفرعية R_{Sh} على مردود الخلية الشمسية من النوع CdTe، نلاحظ من المنحنى أن المقاومة التفرعية ليس لها تأثير على قيم مردود الخلية ($SnO_2/CdS/CdTe$). حيث أنه بزيادة قيم المقاومة نلاحظ زيادة ثم ثبات للمردود



الشكل (3-13) منحنى تأثير تغيرات المقاومة التفرعية R_{Sh} على مردود الخلية الشمسية الشكل (1-3)

6-1- تأثير نوع الطبقة الماصة على المردود:

في دراستنا هذه نقوم بالتغيير في نوع الطبقة الماصة مع الحفاظ على نفس البنية المدروسة سابقا بنفس الظروف ونستخلص تأثير نوع الطبقة الماصة على المردود ومعامل الشكل للخلية. $T=300K$

الجدول (3-4) مميزات كل طبقة

E (μm)	V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA/cm ²)	FF%	
(CdTe)	797.9	10.92	56.12	4.88
(CIGS)	534	9.24	48.39	2.38
(Cu(In,Ga)Se ₂)	243.9	8.48	17.31	0.35

من خلال الدراسة و النتائج المتحصل عليها نلاحظ أن التغيير في نوع الطبقة الماصة له تأثير كبير على مردود الخلية ومعامل الشكل، حيث أنه عند تغييرنا للطبقة الماصة (من الطبقة CdTe إلى الطبقة CIGS ثم إلى الطبقة $(\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2)$) نلاحظ تناقص مستمر في قيم مردود الخلية ومعامل الشكل. نستنتج أن البنية التي تعطي أفضل مردود هي الخلية الشمسية من النوع CdTe.

الخلاصة

قمنا في هذا الفصل بإجراء محاكاة عددية لخلية شمسية من نوع CdTe، وهذا باستخدام برنامج AFORS-HET، حيث ركزنا على دراسة تأثير سمك الطبقة الماصة ودرجة الحرارة والمقاومة التسلسلية والتفرعية وكذا نوع الطبقة الماصة على مخرجات الخلية الشمسية، حيث بينت النتائج أن أفضل سمك يمكن اعتباره هو $e=8.17\mu\text{m}$ مقارنة مع السمكات الأخرى أن أفضل درجة حرارة لعمل الخلية الشمسية هي $T=300\text{K}$ ، ومقاومة تسلسلية صغيرة. كما استخلصنا من الدراسة أن أفضل طبقة ماصة لإنتاج أحسن مردود هي الطبقة الماصة CdTe مقارنة بالطبقات الأخرى.

الخاتمة العامة

الخاتمة

الخلايا الشمسية عبارة عن أجهزة كهروضوئية تقوم بتحويل الإشعاع الكهرومغناطيسي من الشمس إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام. تستخدم الخلايا الشمسية في العديد من التطبيقات الأرضية وحتى الفضائية، يمكن استغلال الخلايا الشمسية كمصدر مهم للطاقة من عدة نواحي أهمها: تحويل الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية وبكفاءة تحويل جيدة، وبإمكانها أن تنتج سعة ثابتة تقريبا، بتكاليف تشغيل منخفضة وهي صديقة للبيئة.

أدت دراسة المركبات الثنائية إلى زيادة إنتاج مواد جديدة للخلايا الشمسية، حيث ركزت الأبحاث على الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة لتحقيق كفاءة عالية وتكلفة منخفضة نسبيا، ومن أهم أشباه الموصلات المستغلة حاليا في تصنيع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة بالمركب الكيميائي تيلوريد الكاديوم (CdTe) الذي يتمتع بفجوة نطاق والتي تصل إلى 1.44eV عند $T = 300\text{K}$ ، كما أن العناصر المكونة له (Cd;Te) وفيرة وآمنة، ومعامل امتصاص الطبقة كبير بما يكفي.

يهدف عملنا هذا إلى دراسة كفاءة الخلايا الشمسية متعددة الطبقات عن طريق إجراء محاكاة عددية باستخدام برنامج محاكاة الخلايا الشمسية AFORS-HET، يعد هذا البرنامج أحد أدوات المحاكاة الأكثر استعمالا في دراسة الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة، حيث يستخدمه الباحثون بشكل متزايد في تطويرها والتنبؤ بالنتائج وتحليلها وتفسيرها قبل تجسيدها على أرض الواقع نظرا للتكاليف الباهظة في تصنيع هذا النوع من الخلايا.

ركزنا في عملنا على دراسة الخلية $\text{SnO}_2/\text{CdS}/\text{CdTe}$ تأثير سمك طبقة CdTe على خصائص الخلية حيث بينت النتائج أن سمك الطبقة الممتصة له أثر واضح على عمل الخلية الشمسية، حيث سجلنا تزايد مستمر لقيم المردود بتزايد سمك الطبقة الماصة حتى سمك $8.17\ \mu\text{m}$ حتى تعطي أفضل مردود ثم تتناقص كفاءتها حتى تنعدم عند سمك أكبر من ذلك. كما ركزنا على دراسة تأثير درجة حرارة الوسط حيث تؤثر سلبا على عمل الخلية، حيث بينت النتائج أن درجة حرارة الوسط لها أثر واضح على عمل الخلية الشمسية، حيث سجلنا أفضل النتائج عند درجة حرارة $T = 300\text{K}$ مقارنة مع درجة حرارة الحالات الأخرى أكثر ارتفاعا.

كما درسنا تأثير المقاومات التسلسلية والتفرعية على مردود الخلية وكذا معامل الشكل، حيث أظهرت النتائج أن زيادة المقاومات التسلسلية لها تأثير سلبي أيضا على أداء الخلية (معامل الشكل FF وعلى مردود الخلية η) وجدنا أنه على العكس من المقاومات التسلسلية فان المقاومات التفرعية التي ليس لها أي أثر تقريبا على المعاملين ($FF-\eta$)

أخيرا قمنا بدراسة تأثير نوع الطبقة الماصة على مردود الخلية وهنا قمنا بتغيير نوع الطبقة الماصة، حيث أظهرت النتائج أن أفضل طبقة لتحسين مردود الخلية هي الطبقة من النوع تيلوريد الكاديوم (CdTe)

قائمة المراجع

قائمة المراجع:

- [1]- هاني عبيد، الإنسان والبيئة. منظومات الطاقة والبيئة والسكان، دار الشروق للنشر والتوزيع، سنة 2000م.
- [2]- عبد العزيز طريح شرف، الجغرافيا المناخية والنباتية مع التطبيق على مناخ إفريقيا ومناخ العالم العربي. عبد العزيز طريح شرف، دار المعرفة الجامعية الإسكندرية، الطبعة الثالثة، سنة 1961م.
- [3] -ميموني ايمان، مساهمة في دراسة الطبقات الرقيقة للخلايا الشمسية المترسبة بتقنية PECVD مذكرة ماستر 2016/2015 جامعة قاصدي مرباح ورقلة-الجزائر.
- [4]-<https://ar.m.wikipedia.wiki>portail de physique.
- [5] – الحسن ابن الهيثم، المناظر، ملكية عامة، سنة 2005م.
- [6]-Radiation from the sun"<https:// Universetoday.com.Retrieved>"2023/03/25.10:23
- [7] -مقال عن الخلايا الشمسية وطرق استغلالها – أرشيف علوم ومعلومات عامة. 2007/05/09.
- [8]-Bernoulli, M. *Solar Cell Materials Course: Solid State II. department of physics, University of Tennessee, Knoxville, (2008)*
- [9]-HELALI Kamelia, << Modelisation d'une cellule photovoltaïque : Etude comparative > Mémoire de magistère. 25/06/2012
- [10] – سي جوليان تشن، فيزياء الطاقة الشمسية، مؤسسة هنداوي، سنة 2011م.
- [11]-<https://images.app.goo.gl/wKWG24KmEfJCVKEG9>18/10/2023.13:04
- [12]-efficient ZnO/CdS/CuInGaSe₂ solar cell with 81.2%fill " %19.9-Repines, I.(2008).
.2023/03/24, ج 16.:progress in photovoltaic: Research and applications.235".factor
12:14
- [13]-Bethel Afework, Jordan Hanania, kailynStenhouse, and others (2021-5-31)
"Types of photovoltaic cells", energyducation.Ca, Retriever 2023/03/11.Edited
- [14]- [wwwhttps://aljazeera.ent](https://aljazeera.ent) 2021, 2023/03/25; 15:11
- [15] – جيرل ووكر، سيرك الفيزياء الطائر، مؤسسة هنداوي، سنة 2020م.
- [16] -مرودة سعداوي، الإشعاع الشمسي كمصدر أساسي للطاقة البديلة ومختلف تطبيقاته العلمية، مذكرة ماستر 2021/2020، جامعة قاصدي مرباح ورقلة-الجزائر.
- [17] -مؤسسة الكهرباء والغاز تقرت-الجزائر 10:00-2023/02/13

[18] -محمد فؤاد كاظم، الخلايا الشمسية المحفزة بصبغة، بحث نيل شهادة البكالوريوس في الكيمياء 2019،
كلية العلوم في جامعة القادسية دولة العراق.

[19]-B.Dalati .Tishreen University Journal for Research and Scientific
StudiesBasicSciences eriesvol.(36) No.(3)(2014)

المأخذ

المخلص:

قمنا في هذا العمل بإجراء محاكاة عددية لأداء خلية شمسية ذات طبقات رقيقة CdTe/CdS/SnO₂ باستخدام برنامج AFORS-HET. تحصلنا على المنحنى المميز تيار جهد ومنحنى الاستطاعة وتمكنا من تحديد خصائص الخلية وهي تيار الدارة القصيرة (I_{sc})، جهد الدارة المفتوحة (V_{oc})، معامل الشكل (FF)، والكفاءة (η). درسنا تأثير سمك الطبقة الماصة CdTe على مردود الخلية وخصائصها. وجدنا أن سمك 8,17 μm للطبقة CdTe يحقق أفضل كفاءة وأحسن أداء للخلية، لوحظ أن لدرجة الحرارة تأثير سلبي على عمل الخلية حيث تنعدم الكفاءة تقريبا عند مقاومة تسلسلية تقارب 25Ω . لاحظنا أيضا أنه عند مقاومة تفرعية تفوق 100000Ω تبقى خصائص الخلية ثابتة. قمنا باستبدال الطبقة CdTe بطبقتين CIGS و Cu(In,Ga) فأظهرت النتائج أن نوع الطبقة الماصة في الخلية ذات الطبقة الرقيقة CdTe هو الأفضل. الكلمات المفتاحية: الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة، الطبقة الماصة CdTe، محاكاة، AFORS-HET.

Résumé :

Dans ce travail, nous avons effectué une simulation numérique de performance d'une cellule solaire à couches minces CdTe/CdS/SnO₂ en utilisant le programme AFORS-HET. Nous avons obtenu la courbe caractéristique courant-tension et la courbe de puissance, et nous avons pu déterminer les caractéristiques de la cellule, qui sont le courant de court-circuit (I_{sc}), la tension à circuit ouvert (V_{oc}), le facteur de forme (FF), et le rendement (η). Nous avons étudié l'effet de l'épaisseur de la couche absorbante CdTe sur le rendement et les propriétés de la cellule. Nous avons constaté que l'épaisseur de 8,17 μm pour la couche de CdTe permet d'obtenir le meilleur rendement et la meilleure performance de la cellule. Nous avons constaté que la température a un effet négatif sur le travail de la cellule, car le rendement est presque nul à une résistance série d'environ 25Ω . Nous avons également remarqué que lorsque la résistance parallèle dépasse 100000Ω , les caractéristiques de la cellule restent constantes. Nous avons remplacé la couche CdTe par deux couches de CIGS et Cu(In,Ga), et les résultats ont montré que le type de couche absorbante dans la cellule à couche mince CdTe est le meilleur.

Abstract :

In this work, we performed a numerical simulation of a performance of CdTe/CdS/SnO₂ thin-film solar cell using the AFORS-HET program. We obtained the current-voltage characteristic curve and the power curve, and we have determined the characteristics of the cell, which are the short-circuit current (I_{sc}), the open-circuit voltage (V_{oc}), the fill factor (FF), and efficiency (η). We have studied the effect of the thickness of the CdTe absorbing layer on the efficiency and the properties of the cell. We found that the 8.17 μm thickness for the CdTe layer give the best cell efficiency and performance. We have found that the temperature has a negative effect on the work of the cell. The efficiency become almost zero at a series resistance of around 25Ω . We also noticed that when the parallel resistance exceeds 100000Ω , the characteristics of the cell remain constant. We replaced the CdTe layer with two layers of CIGS and Cu(In,Ga), and the results showed that the type of absorber layer in the CdTe thin film cell is the best.