



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة قاصدي مرباح - ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة
قسم الفيزياء
مذكرة ماستر أكاديمي
ميدان: علوم المادة
فرع: فيزياء
تخصص: فيزياء المواد
من إعداد الطلبة:
بكوش أسماء
بغنوان:



محاكات عديدة للأداء وكفاءة الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة من نوع تيلورايد الكادميوم (CdTe)

نوقشت بتاريخ: 14 جوان 2022 م

أمام لجنة الأساتذة المكونة من:

جريوي محمد	أستاذ محاضر قسم ب	المدرسة العليا للأساتذة بورقلة	رئيسا
عاشوري عبد الرحيم	أستاذ محاضر قسم أ	جامعة ورقلة	مناقشا
بن حميدة سفيان	أستاذ محاضر قسم أ	جامعة ورقلة	مشرفا

السنة الجامعية: 2022/2021 م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الإهداء

(واخر دعواهم ان الحمد لله رب العالمين)

الحمد لله الذي ما تم جهد ولا ختم سعي الا بفضلله وما تخطيت هذه العقبات و الصعوبات
الا بتوفيقه، تخرجت

ليس باجتهادي ، وانما بتوفيق من ربي .

الى التي عانت وعاشت ارق الليالي وذوقت مرارة الصبر وسئمت طول الانتظار لتقر عينها وانا
اخرج الى الوجود

ثمرة هذا الجهد الى رمز الحنان والعطاء نعمة ربي **** امي

الى من جمعتني معهم اسمى المشاعر و اوثق الروابط ، الذين شاركوني حزني فرحي الى رمز
الانس والتعاون

اخواتي***رجاء ، وفاء ، نور الهدى

الى دخري وسندي في الحياة اخي ***محمد الصادق

الى اللذين ودعتهم مبكرا لكن ارواحهم لا زالت ترافقني اينما كنت.....(رحمة الله عليهم)

الى الوجوه النيرة وسمات الفرح والعطاء خلاتي و اولادهم كل واحد باسمه

الى كل من نسيهم قلمي....ولم ينسأهم قلبي.....ومن خط اسمه على خارطة دربي

اهدي لكم هذا العمل .

شكر وثناء

الحمد لله الذي بفضلته تتم الصالحات و الصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى اله وصحبه ومن اهتدى بهديه يوم الدين

نتوجه بالشكر الجزيل الى ذي المنة والامتنان اولا واخرا و هو القائل " ولئن شكرتم لأزيدنكم "

نتقدم بخالص الشكر و التقدير الاستاذ الفاضل والمشرف **بن حميدة سفيان** لما قدمه لي من متابعة و نصح وتوجيه ولم ييخل بجهدا او عملا طيلة مدة البحث.

كما نتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ **جريوي محمد** ، لرأسه لجنة المناقشة و الأستاذ **عبد الرحيم عاشوري** لقبوله

مناقشة هذه المذكرة واعطائنا الملاحظات والتوجيهات السديدة جزاهم الله عنا كل خير .

كما نتقدم بالشكر والتقدير الى كل استاذ ومعلم اعطاء لنا جرعة علم وزرعنا فينا مكارم الاخلاق

" اللهم اجعل هذا العلم شفيعا لي يوم تسألني عن شبابي فيما

افنيته ، وزدني علما ونفعنا به "



فهرس المحتويات

I.....	الاهداء
II.....	شكر وثناء
IV.....	فهرس المحتويات.....
III.....	فهرس الاشكال والجداول
XI.....	مقدمة عامة
XIII.....	مراجع المقدمة العامة

الفصل الاول: فيزياء انصاف النواقل

1.....	مقدمة.....
1.....	1-I-1- ماهية انصاف النواقل.....
1.....	1-I-1-1- انصاف النواقل الذاتية
3.....	1-I-2- انصاف النواقل غير ذاتية
3.....	1-I-3-1- اشباه الموصلات من نوع السالب.....
4.....	1-I-3-2- اشباه الموصلات من نوع الموجب
5.....	1-I-4- عصابات الطاقة.....
6.....	1-I-5- الفجوة المباشرة وغير المباشرة.....
6.....	a- الفجوة المباشرة
7.....	b- الفجوة غير مباشرة.....
7.....	1-I-6- الالكترونات والثقوب.....
8.....	1-I-7- الوصلة الثنائية.....
8.....	1-I-8- البنية البلورية
8.....	1-I-8-1- الشبكة البلورية الصلبة.....
9.....	1-I-8-2- الشبكة الاولية.....
9.....	1-I-8-3- منطقة برليون الاولى.....
9.....	1-I-2- فيزياء الخلايا الشمسية.....
10.....	1-I-2-1- نبذة تاريخية عن الخلايا الشمسية.....

11.....	I-2-2- مصدر الطاقة الشمسية.
12.....	I-2-3- طيف الاشعة الشمسية.
13.....	I-2-4- انواع الخلايا الشمسية.
13.....	I-2-5- كيفية صنع الخلايا الشمسية.
14.....	I-2-6- مبدا عمل الخلايا الشمسية.
15.....	I-2-7- وصف الخلية الشمسية ذات الاغشية الرقيقة.
16.....	I-2-8- منحني المميز للخلية الشمسية.
17.....	I-2-9- مردود الخلية الشمسية.
17.....	I-2-10- طرق تجميع الالواح الكهروضمسية.
17.....	I-2-10-1- طرق تجميع الالواح الشمسية على التسلسل.
18.....	I-2-10-2- طرق تجميع الالواح الشمسية على التفرع.
18.....	I-2-11- ايجابيات وسلبيات الخلايا الشمسية.
19.....	I-3- الخلاصة.

الفصل الثاني :عموميات حول الاغشية الرقيقة واستعمالاتها في الخلايا

24.....	II-1- مفهوم الاغشية الرقيقة.
24.....	II-1-2- تعريف الاغشية الرقيقة.
24.....	II-1-3- تطبيقات الاغشية الرقيقة.
25.....	أ- التطبيقات الالكترونية.
25.....	ب- التطبيقات الضوئية.
25.....	ت- التطبيقات المغناطيسية.
25.....	ث- التطبيقات بيولوجية.
25.....	ج- التطبيقات الكيميائية.
25.....	ح- التطبيقات في المجالات الحرارية.
26.....	II-4- مميزات الاغشية الرقيقة.
26.....	II-5- الية تشكل الطبقات.
26.....	II-6- طرق ترسيب الاغشية الرقيقة.
27.....	II-7- طرق الترسيب الفيزيائية.
27.....	II-7-1- التبخر تحت الفراغ.
27.....	II-7-2- الانفصال بالليزر.
28.....	II-7-3- الرش المهبطي.
28.....	المبدا العام لرش المهبطي.
29.....	انواع الرش المهبطي.
30.....	مميزات الطرق الفيزيائية.
30.....	عيوب الطرق الفيزيائية.

30.....	8-II طرق الترسيب الكيميائية.....
30.....	1-8-II الترسيب الكهربائي.....
31.....	2-8-II الترسيب اللاكهربائي.....
31.....	3-8-II الترسيب الذري.....
31.....	مميزات الطرق الكيميائية.....
31.....	قواعد اختيار الترسيب المناسبة من بين الطرق كيميائية.....
32.....	2-II الخواص الفيزيائية والكيميائية لمركب تلورايد الكاديوم.....
32.....	1-2-II مقدمة.....
33.....	2-2-II خصائص العامة للمركب تلورايد الكاديوم.....
34.....	أ- خصائص الكيميائية.....
34.....	ب- خصائص الكهربائية.....
35.....	ت- خصائص الحرارية.....
35.....	ث- خصائص الميكانيكية.....
35.....	ج- خصائص الالكترونية.....
37.....	ح- الخصائص الضوئية.....
36.....	3-2-II انتاج الخلايا الشمسية لتلورايد الكاديوم.....
36.....	فوائد الخلايا الشمسية ذات الاغشية الرقيقة.....
36.....	امتصاص عالي.....
37.....	تصنيع منخفض التكلفة.....
37.....	امتصاص الضوء في اشباه الموصلات.....
38.....	4-2-II الرسم البياني المكافئ للخلية الشمسية.....
39.....	5-2-II تطبيقات مركب تلورايد الكاديوم.....
40.....	6-2-II استخداماته.....

الفصل الثالث: محاكات العددية لأداء و كفاءة الخلايا الشمسية من نوع CdTe

43.....	1-III تمهيد.....
43.....	2-III المعادلات اساسية المستعملة لمحاكاة الخلايا الشمسية.....
43.....	1-2-III معادلة بواسون.....
44.....	2-2-III معادلة الاستمرارية.....
44.....	3-III برنامج المحاكات الخلايا الشمسية SCAPS.....
48.....	1-3-III واجهة البرنامج.....

48.....	III-4-تحليل النتائج ومناقشتها.....
48.....	III-4-1-بنية الخلية الشمسية من نوع تيلورايد الكاديوم.....
49.....	III-4-2-تحديد ثوابت وشروط الاولية لمحاكات الخلايا الشمسية من نوع CdTe.....
49.....	III-4-3-تأثير الاضاءة على خواص تيار – جهد للخلية الشمسية من نوع CdTe.....
50.....	III-4-4-تأثير سمك الطبقة CdTe على خواص تيار – جهد.....
50.....	III-4-5-تأثير سمك الطبقة CdTe على جهد الدارة المفتوحة.....
51.....	III-4-6-تأثير سمك طبقة CdTe على عامل الملاء والكفاءة.....
52.....	III-4-7-مردود الكمي للخلية الشمسية.....
53.....	III-5-الخاتمة.....

قائمة الأشكال

- شكل I-1- : تطعيم الجاليوم النقي بالذرة المانحة..... 3
- شكل I-2-: تطعيم الجاليوم النقي بالذرة الاخذة..... 4
- شكل I-3-: مخطط لعصابة الطاقة عند الصفر المطلق..... 6
- شكل I-4- : رسم تخطيطي للوصلة الثنائية..... 8
- شكل I-5-: رسم تخطيطي لمنطقة برليون الاولى للشبكة البلورية وغير البلورية..... 9
- شكل I-6-: خلية كهروشمسية ولوح شمسي وصف شمسي..... 11
- شكل I-7- : توزيع طيف الاشعاع الشمسي..... 12
- شكل I-8-: رسم تخطيطي يبين انواع الخلايا الشمسية..... 13
- شكل I-9-: طبقات الخلايا الشمسية..... 14
- شكل I-10-: هيكل (الاسفل) ومخطط الطاقة (الاعلى) للخلية الشمسية..... 15
- شكل I-11-: غشاء رقيق للخلية الشمسية..... 16
- شكل I-12- المنحني المميز للجهد – التيار للخلية الشمسية..... 16
- شكل II-1-: مخطط يوضح بعض الطرق الفيزيائية و الكيميائية..... 27
- شكل II-2- رسم تخطيطي يبين تقنية البتر او الانفصال بالليزر..... 28
- شكل II-3- رسم تخطيطي لجهاز الرش المهبطي..... 29
- شكل II-4- معدن الكادميوم (اليمين) معدن تلورايد (اليسار)..... 33
- شكل II-5- البنية البلورية لمركب تيلورايد الكادميوم..... 34
- شكل II-6-: شكل يبين تموضع طبقات الخلية كهروضوئية..... 36
- شكل II-7-: السناريوهات الثلاثة التي توضح امتصاص الفوتون بواسطة اشباه الموصلات..... 37
- شكل II-8- نموذج الدارة المكافئة للخلية الشمسية..... 38
- شكل III-1- ايقونة برنامج SCAPS..... 44
- شكل III-2- الواجهة الاساسية لبرنامج SCAPS..... 45
- شكل III-3- نافذة مكونات الخلية الشمسية..... 46
- شكل III-4- الوسائط الخارجية لعمل الخلية..... 46
- شكل III-5- مخرجات الخلية الشمسية..... 47

قائمة الأشكال

- شكل III-6- نافذة المنحنيات والنتائج.....47
- شكل III-7- بنية الخلية الشمسية ل CdTe.....48
- شكل III-8- منحني التغيرات الكثافة التيار بدلالة الجهد لخلية شمسية من نوع CdTe من اجل القيم المختلفة للسلك.....49
- شكل III-9- : منحني تغيرات كثافة التيار بدلالة الجهد للخلية الشمسية من نوع CdTe من اجل القيم المختلفة للسلك.....50
- شكل III-10- منحني تغيرات كل من تيار الدارة القصيرة وجهد الدارة المفتوحة لخلية شمسية من نوع CdTe من اجل قيم مختلفة للسلك.....51
- شكل III-11- :منحني تغيرات كل من عامل الملئ وكفاءة لخلية الشمسية من نوع CdTe من اجل قيم المختلفة للسلك...51
- شكل III-12- منحني تغيرات المردود الكمي كدالة لطول الموجي للخلية الشمسية من نوع CdTe من اجل القيم المختلفة للسلك.....52

قائمة الجداول

- 34.....جدول II-1-جدول الخصائص لمركب تيلورايد الكادميوم.....
- 35.....جدول II-2-جدول الخصائص لمركب تيلورايد الكادميوم.....
- 35.....جدول II-3-جدول الخصائص لمركب تيلورايد الكادميوم.....
- 35.....جدول II-4-جدول الخصائص لمركب تيلورايد الكادميوم.....
- 36.....جدول II-5-جدول الخصائص لمركب تيلورايد الكادميوم.....
- 36.....جدول II-6-جدول الخصائص لمركب تيلورايد الكادميوم.....
- 48.....جدول III-1-الثوابت الفيزيائية المستعملة لمحاكات الخلية الشمسية من نوع CdTe.....
- 50.....جدول III-2-نتائج محاكات الخلية الشمسية من نوع CdTe.....

المقدمة العامة

المقدمة العامة

في الوقت الحالي أضحت دراسة المواد المرسبة بشكل أغشية رقيقة إحدى أهم الوسائل المناسبة لمعرفة و تحديد خصائصها الفيزيائية وكذلك الكيميائية و التي يصعب الحصول على خواصها وتحديد لها وهي على هيئتها الطبيعية [3]، وتعرف الاغشية الرقيقة على أنها عبارة عن مواد تحضر على هيئة طبقة أو عدة طبقات من ذرات المادة [4،5]، إذ ترسب هذه الاغشية على مواد صلبة تعرف بالركائز [6]. وتعتبر تقنية الاغشية الرقيقة واحدة من أهم التقنيات التي ساهمت وبشكل كبير في تطوير دراسة أنصاف النواقل [7]. كما تعددت استخدامات الاغشية الرقيقة وتطبيقاتها، حيث سيطرت على اغلب الميادين العلمية و الصناعية نذكر منها: الخلايا الشمسية، الالكترنيات الضوئيات ، الحساسات [7].

أن التطور الحاصل في مجال الاغشية الرقيقة أدى إلى تنوع البحوث الخاصة بدراسة الخواص المختلفة لهذه الاغشية ، كما تعددت طرق تحضيرها حيث لكل طريقة طريقة مميزات وخصوصيات تنفرد بها [7]، ولذلك ابتغاء الحصول على أغشية رقيقة ذات مواصفات مثيرة للاهتمام من نقاوة و دقة وسيطرة سمك الغشاء وتجانسه من اجل الاستفادة المثلى منها من خلال أدراجها في مختلف الأجهزة العلمية ، مما يتطلب عادة منظومة فعالة وأجهزة دقيقة معقدة ومعقدة قد تحتاج إلى تكاليف باهظة [3،7]، كل هذه الأمور أدت إلى البحث عن طريق ترسيب مغايرة فيها كلفة التحضير منخفضة وبأجهزة اقل تعقيدا مع الحصول على أغشية بمواصفات مقبولة ، ومن هذه الطرق طريقة الترسيب بالحمام الكيميائي التي تتميز ببساطتها وكذلك أجهزة جودة الاغشية المرسبة من خلالها ، إضافة لكونها طريقة آمنة لا تحتاج لدرجة حرارة وضغط مرتفعين [8] .

تعد الاغشية الرقيقة من نوع تيلورايد الكادميوم من أهم أغشية المجموعة (الثانية - السادسة) المدروسة حاليا [8]، حيث يتم تحضير هذا النوع من الاغشية و بطرق مختلفة منها : التبخر الحراري الفراغي ، الرش ، وكذلك طريقة الحمام الكيميائي ، كما ذكر أعلاه هي طريقة بسيطة وعملية إذ يمكن تحضيرها بموصفات جيدة [9].

لأغشية تيلورايد الكادميوم الرقيقة المرسبة تطبيقات عديدة ، حيث تستعمل بكثرة كطبقة نافذة في الخلايا الشمسية [10]. وفي صباغة ، الالكترنيات

أغشية تيلورايد الكادميوم الرقيقة ستكون محل الدراسة والبحث في هذا العمل نظرا لمكانته المهمة في المجالات العلمية والصناعية شجعتنا لاختيار هذا الموضوع وذلك بغية تحضير محاكاة عددية لأداء و كفاءة الخلايا الشمسية من هذا النوع وكذا معرفة خواصها البنيوية والضوئية لاستغلالها الأمثل في مختلف التطبيقات الالكترونية ، و الضوئية وغيرهما .

والتساؤل المطروح : ماهو مردود أو شدة الإضاءة في وجود وغياب الضوء ؟

ومن الإجابة على هذا التساؤل المطروح تم انجاز هذا العمل والذي قسم إلى ثلاث فصول : فصلين نظريين الأول سيتم التطرق فيه إلى فيزياء إنصاف النواقل ولحمة عامة حول الخلايا الشمسية، أما الفصل الثاني تطرقنا إلى عموميات حول الاغشية الرقيقة وطرق ترسيبها وكذا الخواص العامة ل **CdTe** ، أما الفصل الأخير سيتم فيه الاهتمام بالمحاكاة العددية للمركب المذكور اعلاه وكذلك مناقشة النتائج المتحصل عليها مع ذكر أهم الاستنتاجات المنبثقة من هذا العمل وكذلك الآفاق المستقبلية للبحث في هذا المشروع .

قائمة المراجع

- [1] A .A.Benhabireche abdelhak, etude numerique des cellules photovoltaïques heterojonction, mémoire de magister, universite des sciences et de la technologie houari boumediene, (2016).
- [2] 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).
- [3] Ben Abderrazak Ghania, Etude par simulation numérique de la Cellule solaire à base de CZTS par SCAPS, Université Med Khider Biskra, (2014).
- [4] D.LALAM, Etude et optimisation des cellules solaires en couches minces CdTe/CdS, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, (2016).
- [5] A.NOUIR , Z.BOUALLEM, Etude de l'effet de la couche mince CdZnS dans la cellule solaire CZTS, mémoire de magister, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, (2017).

الفصل الأول: فيزياء انصاف النواقل

1-I مقدمة :

تعد دراسة خواص المادة على شكل أنصاف نواقل من الموضوعات الهامة في فيزياء الحالة الصلبة، ففي بداية القرن التاسع عشر تقدمت وتطورت دراسة الجانب العملي لأنصاف نواقل ، حيث تم تحديد العديد من الخواص الفيزيائية والالكترونية لها لتحديد استخدامها في التطبيقات العملية المختلفة نقدم في هذا الفصل معلومات عامة عن أشباه الموصلات أنواعها ، خواصها و من ثم نعرض على الخلايا الشمسية مبدأ تشغيل الخلايا الشمسية و تطبيقاتها.

1-1-1 أنصاف النواقل :

المادة شبه موصلة عبارة عن عناصر رباعية التكافؤ مثل الجرمانيوم والسييلسيوم (يحتوي غلاف الذرة الخارجي على 4الالكترونات) ترتبط ذراتها ببعضها البعض بروابط تساهمية عن طريق الكترونات المدار الخارجي وتكون عازلة تماما عند الصفر المطلق , بحيث لا يوجد إي الكترونات حرة في منطقة التوصيل لنقل الكهرباء حيث فاصلها الطاقوي لا يتجاوز 3إلكترونفولت.

لكن من الممكن أن تتحطم بعض الروابط التساهمية وذلك بتطبيق طاقة حرارية أو ضوئية متزايدة القمة عن نوع هذه البلورة , وهذا التحطيم يؤدي إلى اهتزاز الذرات و تحرر بعض الالكترونات من مداراتها الخارجية فتولد فراغات في البلورة وتسمى هذه الفراغات بالثقوب أو الفجوات [30-31]. تتميز المواد النصف الناقلة بمقاومة نوعية تاخذ اوم×سم تقريبا . وترداد هذه المقاومة بانخفاض 10^{-2} الى 10^5 قيما في المجال من الناقلية هذه المواد.

المواد النصف الناقلة تكون في الحالات المادة الثلاث :الغازية والسائلة وكذلك الصلبة ومنها غير البلورية والبلورية والتي غالبا ما تكون في التركيب المكعب الماسي المعروف بخصائصه المميزة وتنقسم هذه المواد إلى قسمين [1](أنصاف نواقل ذاتية و غير ذاتية).

1-1-2- أنصاف النواقل الذاتية (غير مطعمة):

يطلق على جسم صلب نصف ناقل ذاتي إذا لم يكن يحتوي على أي عيوب بلورية (نقية) حيث تكون الحاملات اكبر من عدد الشوائب أي انه هو تلك المادة التي لا تتأثر بالإضافات الخارجية

حيث أن النقاوة المتوصل عليها الآن تقرب ب 10^{-9} أي 10^9 ذرة من شوائب [3-31]. لكل ذرة من ذرات الاصلية . إذا كان n يمثل تركيز الالكترونات و p تركيز الثقوب في كل 1 سم مكعب فان النصف الناقل الذاتي يعرف

$$n=p=n_i \quad (1-1)$$

$$\begin{cases} n = N_c \times \exp - \frac{E_c - E_f}{k_b \times T} \\ p = N_v \times \exp - \frac{E_f - E_v}{k_b \times T} \end{cases} \quad (2 - 1)$$

$$\begin{cases} N_c = 2 \times \left[\frac{2\pi m_e^* k_b T}{h^2} \right]^{\frac{3}{2}} = 2.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3} & (3_1) \\ N_v = 2 \times \left[\frac{2\pi m_h^* k_b T}{h^2} \right]^{\frac{3}{2}} = 1.02 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3} & (4_1) \end{cases}$$

n_i : كثافة الحالات الذاتية والتي هي سمة من سمات شبه الموصل عند درجة حرارة معينة

N_c : كثافة الحالة الفعالة في نطاق التوصيل (حزمة النقل)

N_v : كثافة الحالة الفعالة في نطاق التكافؤ (حزمة التكافؤ)

E_c : هو مستوى الطاقة في الجزء السفلي من نطاق التوصيل لأشباه الموصلات

E_v : هو مستوى الطاقة في الجزء العلوي من نطاق التوصيل لأشباه الموصلات

E_f : هو مستوى فيرمي

أيأن مستوى فيرمي يقع منتصف الفاصل الطاقوي في حالة $T=0 \text{ K}$

$$E_f = \frac{-E_c - E_v}{2} \quad (5_1)$$

من المهم أيضا ملاحظة قانون تعادل الشحنة

$$n \times p = N_c N_v \times \exp - \left(\frac{E_g}{2K_b \times T} \right) \quad (6_1) n_i^2$$

Eg: تمثل طاقة الربط

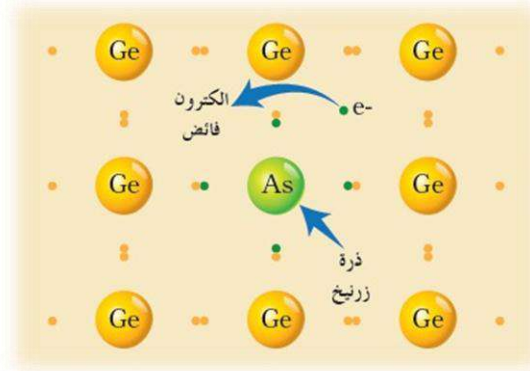
$$E_f = -\frac{E_g}{2} \quad (7-1)$$

I-3-1- المواد النصف الناقلة المطعمة (غير ذاتية):

يمكن للالكترونات تنتقل من حزمة التكافؤ BV إلى حزمة النقل BC وذلك بإعطاء طاقة كافية بواسطة مصادر حرارية أو ضوئية، فينتج عن ذلك توليد الكترونات وثقوب حرة في بلورة نصف الناقلة [30-31]، لكن توجد طرق آخر بأكثر فعالية للسيطرة على عملية التوصيل الكهربائي ألا وهي تطعيم الذي يتمثل في إضافة كميات صغيرة من الشوائب وتكون نسبتها صغيرة جدا حوالي جزء إلى عشرة ملايين من ذرات البلورة .

I-3-1-1- أشباه الموصلات من النوع السالب n: للحصول على أشباه موصلات سالبة من

تطعيم السيلكون بشوائب من الفسفور، فالسيلكون أو الجاليوم يحتوي مداره الخارجي على أربعة الكترونات بينما يحتوي المدار الخارجي للزرنيخ على خمسة الكترونات وعند مزج كمية قليلة من الزرنيخ مع السيلكون فان أربعة منها ترتبط بذرة سيلكون بينما الخامس حرا (غير مرتبط) لذلك يدعى نوع السالب [30].



شكل (I-1): تطعيم الجاليوم النقي بالذرة المانحة

إن هذا النوع الشوائب ذات تكافؤ الخماسي يدعى بالمانح أو المعطي (N_d) بسبب تواجد إلكترون حر وشبه موصل من نوع n وذلك لان الالكترونات الحرة ذات الشحنة السالبة هي أكثر من الفجوات $p \gg n$ لذلك يطلق عليها اسم الحاملات الأغلبية حيث $n = N_d^+$ بينما يطلق على الفجوات اسم الحاملات الاقلية [7-31]

يتعلق قانون فعل الكتلة بدرجة الحرارة وكثافة الحاملات (الالكترونات و الثقوب) مع كثافة الحالات الذاتية

$$\begin{cases} n_i^2 = n \times p \\ p = \frac{n_i^2}{N_d^2} \end{cases} \quad (8 - I)$$

نتيجة لذلك مستوى فيرمي ينتقل من منتصف الفجوة النطاق إلى نطاق التوصيل بحيث :

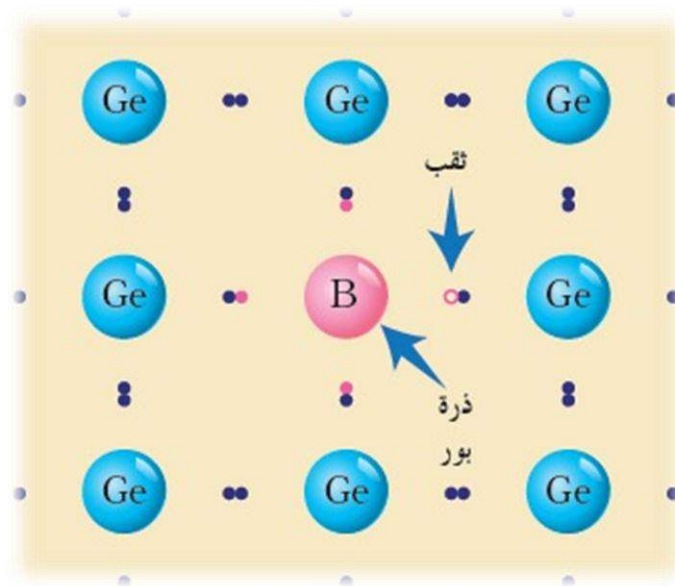
$$E_{fn} - E_{fi} = k_b \times T \times \ln\left(\frac{N_d}{n_i}\right) \quad (9 - I)$$

$$N_d = n = n_i \times \exp\left(\frac{E_{fn} - E_{fi}}{k_b \times T}\right) \quad (10 - I)$$

2-3-1 أشباه الموصلات من نوع الموجب P: يمكن الحصول على هذا النوع من

I-

أشباه الموصلات وذلك بمزج كميات قليلة من البورون مع الجاليوم , و هذان العنصران يحتوي مدارها الخارجي على ثلاث الكترونات (الالكترونات التكافؤ) [30]. ولذلك فانه تاخذ الشائبة ذات ثلاثة الكترونات تكافؤ مكان ذرة الجاليوم نتيجة ارتباط الالكترونات الثلاثة وبقاء أربعة مكسورة دون أن ترتبط بأي من الكترونات التكافؤ



شكل (2-I): تطعيم الجاليوم النقي بالذرة الاحدة

ويعتمد التوصيل الكهربائي في مثل هذا النوع على الفجوات الموجبة ويسمى هذا النوع من الشوائب بشوائب المتقلبة لأنها تتقبل الالكترونات من مدرات البلورة النقية لكي تملأ الفجوات الناتجة عن الترابط التساهمي , وشبه الموصل المنشط في هذه الحالة يسمى بشبه الموصل من نوع الموجب لان عدد الحاملات الاغلبية $p \gg n$ و $P=Na=Na^-$ الفجوات الموجبة هي الكتلة [7-31] يصبح:

$$n_i^2 = n \times p \quad (11 - I)$$

$$n = \frac{n_i^2}{Na^-} \quad (12 - I)$$

N_a : هي الحاملات الاحدة

$$= N_v \times \exp\left(-\frac{E_{fi}-E_v}{K_b \times T}\right) \quad (13 - I) \quad n_i = N_c \times \exp\left(-\frac{E_c-E_{fi}}{K_b \times T}\right)$$

$$= \sqrt{N_c N_v} \exp\left(-\frac{E_g}{2K_B T}\right) \quad (14-I)$$

$$\begin{cases} n = n_i \times \exp - \left(\frac{E_{fi}-E_f}{K_b \times T}\right) \\ P = n_i \times \exp - \left(\frac{E_f-E_{fi}}{K_b \times T}\right) \end{cases} \quad (15-I)$$

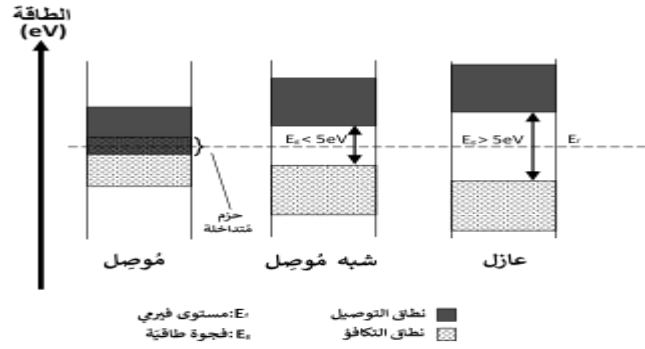
لذلك يتحرك مستوى فيرمي E_{fp} من منتصف فجوة لنطاق التكافؤ E_{fi} بحيث :

$$E_{fi} - E_{fp} = K \times T \times \ln\left(\frac{N_a}{n_i}\right) \quad (16 - I)$$

$$N_a = p \times n_i \times \exp - \frac{E_f-E_{fi}}{K_b \times T} \quad (17 - I)$$

I-1-4- عصابات (نطاقات) الطاقة:

هو عبارة عن مجال طاقي في الجسم الصلب لا يمكن للالكترونات فيه أن تتواجد بالنظر إلى مخططات تركيب النطاق الالكتروني للأجسام الصلبة نجد أن الفجوة النطاق تمثل الفرق الطاقي والذي غالبا ما يعبر عنه بالالكترون فولت . يبين أعلى نطاق التكافؤ و أسفل نطاق التوصيل



شكل (3-I): مخطط لعصابة الطاقة عند الصفر المطلق

تتميز المادة نصف الناقلة ببنية نطاقها [4]:

- 1) نطاق التكافؤ الذي يتوافق مع أعلى نطاق للطاقة مليئة بالكامل بالالكترونات .
- 2) نطاق التوصيل وهو أول مستوى طاقة فوق نطاق التكافؤ حيث تصل أو تنقل الالكترونات المثارة
- 3) النطاق الممنوع وتمثل الطاقة الموردة للالكترونات للمرور من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل .

1-1-5- الفجوات المباشرة وغير مباشرة :

a. فجوة المباشرة :

في أشباه الموصلات ذات الفجوة المباشرة تكون قمة عصابة التكافؤ مقابلة لقعر عصابة النقل (في نفس متجه الموجة) في منطقة برليون كما هو في شكل

متجه الموجة ($\Delta \vec{K} = 0$) في هذه الحالة ($\hbar \Delta P = \Delta \vec{K} = 0$) هو متجه الموجة المرتبط بالإلكترون .

$$P = \hbar \vec{k} = mv$$

كمية الحركة:

$E_v(k); E_c(k)$ هي التوالي علاقات التشتت في نطاق التوصيل وتكافؤ.

$E_v; E_c$ هما على التوالي الحد الأدنى من الطاقة لنطاق التوصيل والقصى لنطاق التكافؤ.

b. فجوة غير المباشرة :

في حالة وجود فجوة غير المباشرة في أشباه النواقل يكون الحد الأدنى نطاق التوصيل على مسافة

$$\Delta \vec{K} \neq 0$$

من الحد الأقصى لنطاق التكافؤ في منطقة برليون الأول .

أعلى نطاق تكافؤ و أسفل نطاق التوصيل هو كذلك مصحوبا بالتغير فان متجه الموجة ليس

كذلك محفوظ

$$\Delta \vec{k} \neq 0 \text{ و } \Delta \vec{p} = \hbar \Delta \vec{k} \neq 0$$

6-1-1 الالكترونات والثقوب:

توجد البلورة عند درجة الحرارة الصفر المطلق في حالتها المثالية وتعمل كأها عازل حيث لا يوجد أي الكترونات حرة في منطقة التوصيل لنقل الكهربائي .

وعند درجة حرارة الغرفة فان بعض الروابط التساهمية تتحطم بسبب الطاقة الحرارية المسلطة على البلورة . تحطيم الروابط التساهمية تؤدي إلى مغادرة الإلكترون من مكانه ويصبح بتالي حر بتنقله داخل البلورة , بعد انتقال الالكترونات من مكانه يبقى فراغ يسمى ثقب إن أهمية هذه الثقوب في أنصاف النواقل تعادل تماما أهمية للالكترونات لأنها تستخدم كإلكترون في النقل الكهربائي [5].

يمكن توضيح آلية عمل الثقوب كنواقل على النحو التالي:

1- عندما يتولد ثقب ما يسهل على أي إلكترون مجاور أن يتحرك ليملا هذا الثقب وبدوره

يتحرك مكانه ثقب آخر . عندئذ نقول أن هناك حركة لهذه الثقوب في اتجاه المعاكس لحركة

الالكترونات

2- حركة الثقوب هذه تعني حركة الشحنة السالبة في اتجاه المعاكس في حركة الالكترونات

بنفس المسافة , ولذلك يمكن أن نعتبر أن ثقب جسيمة ذات شحنة موجبة تساوي شحنة

الإلكترون .

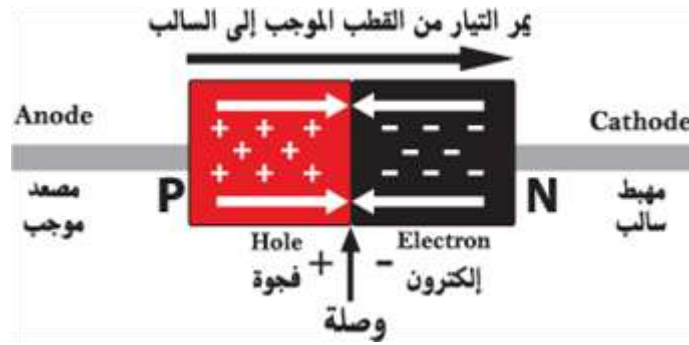
وفي الأخير يمكن اعتبار أن ثقب ناقلات ذاتية التحرك تشكل بمرورها تيار كهربائي.

I-7-1- الوصلة الثنائية PN :

يتم الحصول على الوصلة الثنائية باخذ نوعين من شبه الموصل احدهما من نوع السالب والأخر من نوع الموجب بإصاقهما بحيث يلتحمان معا فتنتقل الالكترونات عبر السطح الفاصل (سطح الالتصاق)

من المادة السالبة لتلتحم مع الثقوب الموجودة في المادة الموجب [8].

ويرمز لثنائي القطب (الديود) في الدوائر الالكترونية بسهم اتجاهه من منطقة المصعد إلى منطقة المهبط [3] كالآتي :



شكل (I-4): رسم تخطيطي للوصلة الثنائي (الديود)

I-8-1- البنية البلورية :

البنية البلورية للمادة المكثفة تفترض الحالة الصلبة تعتمد على تكوينها نميز الحالة غير بلورية بحيث يكون ترتيب ذراتها عشوائيا .

I-8-1-1- الشبكة البلورية الصلبة: تتميز المواد الصلبة البلورية بترتيب دوري

للذرات على طول الاتجاهات الثلاثة في الفضاء و تسمى شبكة البلورية.

هناك 14 نوعا من المشابك البلورية تسمى شبكات برافي ومن الأمثلة على ذلك المكعب

المركزي والمكعب ممرکز الأوجه والسداسي و شبكة الماسية

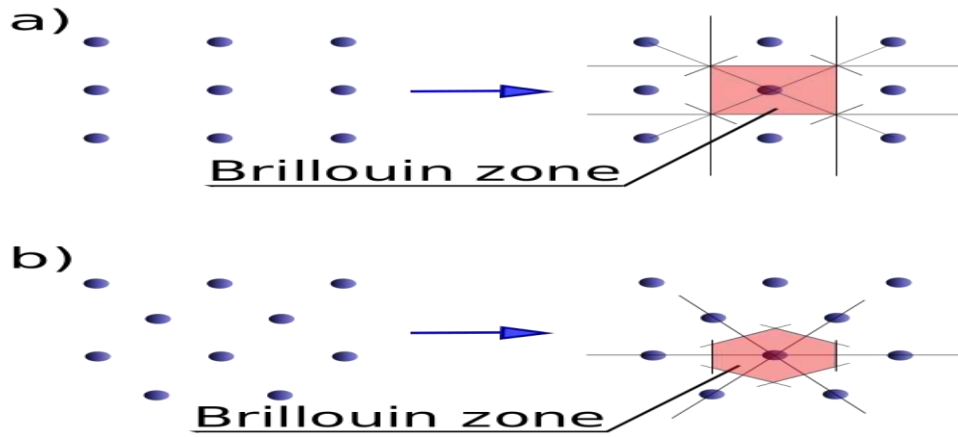
I-2-8-1- الشبكة الاولية: في علو البلورات فان الشبكة المتبادلة لشبكة برافي هي مجموعة المتجهات [10] التي تمثل :

$$e^{ikR}=1$$

K: متجه الشبكة المتبادلة

R: ناقل الترجمة من الاتجاه المباشر لشبكة الاتصال

I-1-3-8- منطقة برليون الأولى: هي خلية الوحدة الأولية للشبكة البلورية في الفضاء المقلوب تحدها مستويات براغ .



شكل (I-5) : رسم تخطيطي لمنطقة برليون الاولى للشبكة البلورية وغير البلورية

I-2- فيزياء الخلايا الشمسية:

الشمس هي المصدر الطاقة غير محدود تقريبا يمكنها أن تغطي عدة آلاف من المرات استهلاكنا للطاقة بشكل عام لهذا السبب كان الإنسان يبحث لفترة طويلة من اجل الاستفادة من هذه الطاقة الهامة. وتمكن من تحقيق هذا الهدف بواسطة المركب الالكتروني المعروف باسم الخلايا الكهروضوئية .
الفعل الكهروضوئي هو ظاهرة فيزيائية خاصة بمواد معينة تسمى أشباه الموصلات.
بفعل هذه الخلايا أصبح من الممكن تحويل طاقة الضوء مباشرة من أشعة إلى كهرباء عن طريق إنتاج ونقل مادة شبه موصلة ذات شحنات كهربائية موجبة أو سالبة تحت تأثير الضوء, وتسمى الطاقة الكهربائية التي يتم

مصطلح الخلايا الكهروضوئية أو وتتكون من Photovoltaic هي مشتقة من اليونانية

جزئين :

*photon: يعني الضوء.

*volt: هي جهد كهربائي المشتق

تقوم الخلايا الكهروضوئية بتوفير الطاقة للمركبات الفضائية فقط. يعتبر أول تطبيقها الأرضية في أوائل السبعينات . تم استخدام الخلايا الكهروضوئية لتزويد المنازل الصغيرة المعزولة ومعدات الاتصالات بالطاقة .

حيث كانت الطاقة الشمسية الكهروضوئية محل اهتمام كبير في السنوات الأخيرة ,إنها الطاقة غير ملوثة وتوفر حلولاً حقيقية لمختلف المشاكل المطروحة حالياً فيما يتعلق بتغير المناخ و حازمة الطاقة [9-10].

I-2-1- نبذة تاريخية عن الخلايا الشمسية :

الخلايا الشمسية هي إحدى أهم الاختراعات في العصور الحديثة والتي تمكن الإنسان بفضلها من تأمين جزء لباث بيه من احتياجاته اليومية للطاقة عن طريق تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية سواء بشكل مباشر أو غير مباشر .

وتعود فكرة الخلايا الشمسية إلى عام 1839م عند اكتشاف العالم الفرنسي ادموند بكاريل انه في حال تعرض قطب كهربائي للضوء ومغموس في محلول موصل ينتج تيار كهربائي . وفي عام 1875م قدم فيرنون سيمنز مقالا عن تأثير الضوئية في أشباه الموصلات في أكاديمية برلين للعلوم .

وقد بينت أول خلية شمسية وظيفية في عام 1883م من قبل تشارلز فريتس إذا لانزال هذه الظاهرة اكتشاف سائدا حتى الحرب العالمية الثانية حيث ظهرت خلية حقيقية أولى في عام 1930 م من السيليسيوم ,وقد أدت الابحاث التي أجريت في الفترة ما بعد الحرب إلى تحسين أدائها وحجمها . وفي عام 1954 م قام ثلاث باحثين امريكين هما :

تشاين وبيرسون وبيرنس بتطوير الخلية الضوئية من السيلكون في مختبرات بيل (الهاتف) ويمكننا رؤية إمكانية توريد الكهرباء الفضاء الناشئة عن حلول جديدة (بخلاف عملية النووية).

أما في عام 1957 م تم إرسال الأقمار الصناعية الأولى مع الألواح الشمسية في نفس الوقت إلى فضاء مع تطوير خلية بمردود 9% إلا أن الحكومات والصناعات لم تكن تستثمر التكنولوجيا الضوئية حتى السبعينات، وقد بدلت جهودا من اجل تخفيض التكاليف استخدام الطاقة الكهروضوئية في التطبيقات الأرضية . وفي عام 1983 م كانت أول سيارة مدعمة بالطاقة الشمسية تسافر مسافة 4000 كلم في استراليا .

أما في عام 1995 م أطلقت برامج أسطح ضوئية المتصلة بالشبكة باليابان و ألمانيا وانتشرت مند عام 2001 م [28-29] .



شكل (I-6): خلية كهروضوئية ولوح كهروضويسي وصف كهروضويسي [24]

I-2-2- مصدر الطاقة الشمسية :

الشمس عبارة عن كرة غازية يبلغ قطرها حوالي 1.4 مليون كلم وهي أثقل من الأرض بحوالي 333 الف مرة. تتركب كيميائيا من غاز الهيدروجين بنسبة 70% وغاز الهيليوم بنسبة 27

% وبقية العناصر الآخر بنسبة 3% وتشمل (الليثيوم, البريليوم, البور, الكربون, النيتروجين, الأكسجين, الفلور..).

تتولد الطاقة الشمسية في باطن الشمس حيث كثافة الغاز تكون كبيرة جدا ودرجة الحرارة عالية والتي تبلغ 16 مليون كلفن, فتحدث تفاعلات اندماجية نووية وفيه تندمج أربع نوى لذرات الهيدروجين لتكوين ايون الهيليوم. حيث تكون كتلة النواة الناتجة اقل من كتلة المتفاعلات وفرق الكتلة يتحول إلى طاقة التي يمكن رؤيتها على كوكبنا بهيئة ضوء و الإحساس بها على هيئة حرارة [27-26]:

I-2-3 طيف الإشعاع الشمسي :

الشمس تنبعث منها أشعة كهرومغناطيسية وتحللها إلى أطوال موجية مختلفة يعطى ما يسمى : بالطيف الكهرومغناطيسي .

حيث انه يتكون من جميع الإشعاعات ذات الألوان المختلفة , والتي تتميز بمجال الطول الموجي كما أن تواتر الضوء يحدد لونه .

الفوتونات و حبيبات الضوء التي تشكل هذا الإشعاع هي حاملات للطاقة والتي ترتبط مع تواتر (طول الموجة) بالعلاقة التالية [25] :

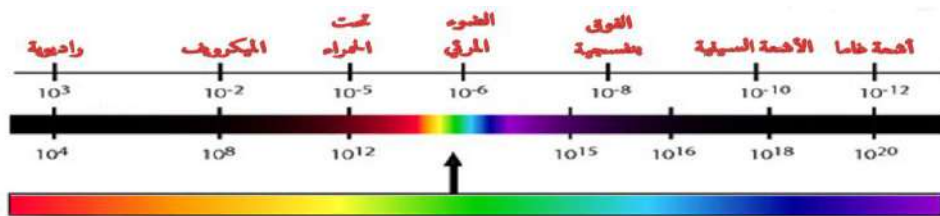
$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} \quad (18 - I)$$

h: ثابت بلانك ($h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{J.S}$)

v: التواتر

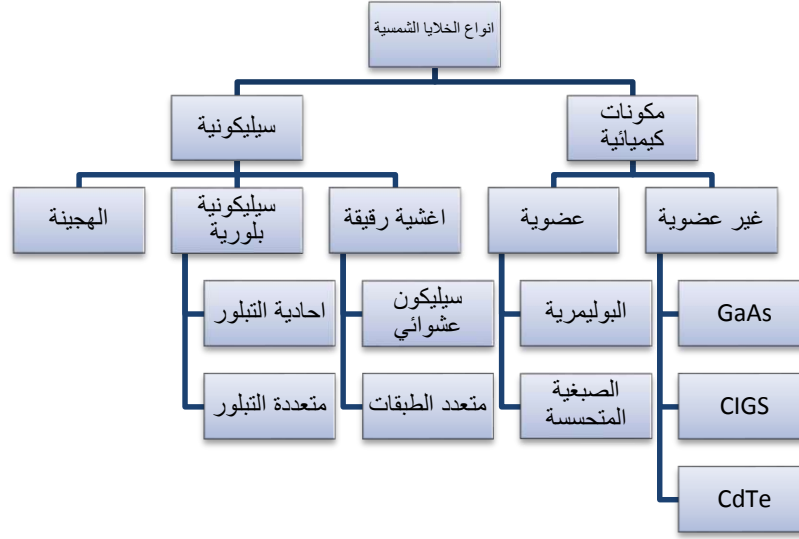
c: ($6,6210^8 \text{m/s}$: سرعة الضوء = c)

λ : طول الموجي (m)



شكل (I-7): توزيع طيف الإشعاع الشمسي [20]

I-2-4 أنواع الخلايا الشمسية :

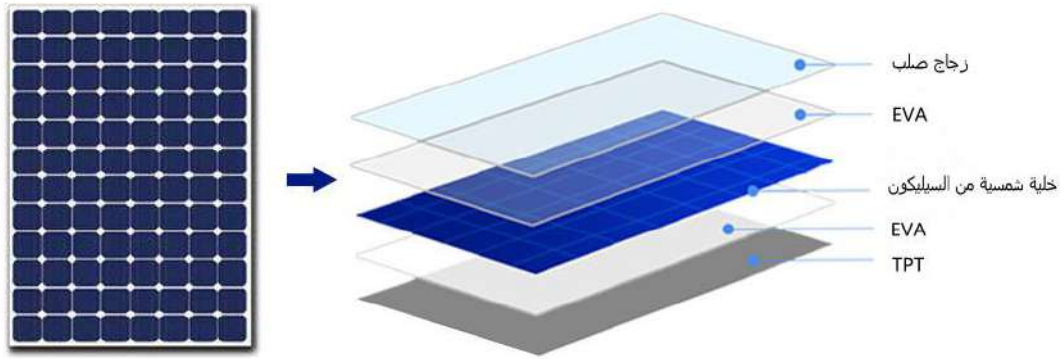


شكل (I-8): رسم تخطيطي يبين أنواع الخلايا الشمسية [19]

I-2-5- كيفية صنع الخلية الشمسية :

تصنع الخلايا الشمسية غالبا من مادة السيلكون المستخرج من الصخور أو رمال السيليكات النقية. ثم نقوم بصهر هذه الصخور في أفران خاصة لإنتاج السيلكون الخام بنقاوة لا تتجاوز 99.99% لإنتاج بلورات السيلكون التي تستخدم في الالكترونيات الدقيقة وبنقاوة اقل نسبيا لاستخدامها في تصنيع الخلايا الشمسية.

ثم تاخذ رقائق السيلكون هذه ليتم معالجة أسطحها كيميائيا وبعدها تضاف طبقة من مادة الفسفور أو بورون لأجل تكوين وصلة ثنائية (ديود) قادرة على فصل حاملات الشحنة المنتجة عند تعرض أشعة الشمس، ويتم استخدام مادة تدعى نترات السيلكون لطلاء سطح الخلية واكتسابها اللون الأزرق الذي يقوم بمنع عملية الانعكاس الأشعة. وبعدها تتم عملية طباعة شبكة الموصلات الفضية على السطح الأمامي وشبكة الألمنيوم على السطح الخلفي مع معالجتها حراريا ومنه تصبح الخلية جاهزة لإنتاج الكهرباء [14].



شكل (I-9): طبقات الخلية الشمسية [23]

I-2-6- مبدأ عمل الخلايا الشمسية:

الخلية الشمسية هي صمام ضوئي لوصلة PN ذات مساحة كبيرة , والتي تولد إشارة ضوئية دون مساعدة مصدر طاقي إضافي . عندما تسقط الفوتونات الممتصة تشارك في الفعل الكهروضوئي , التحويل الكهروضوئي يرتبط بحدوث ثلاثة ظواهر فيزيائية وهي :

- امتصاص المادة لضوء.

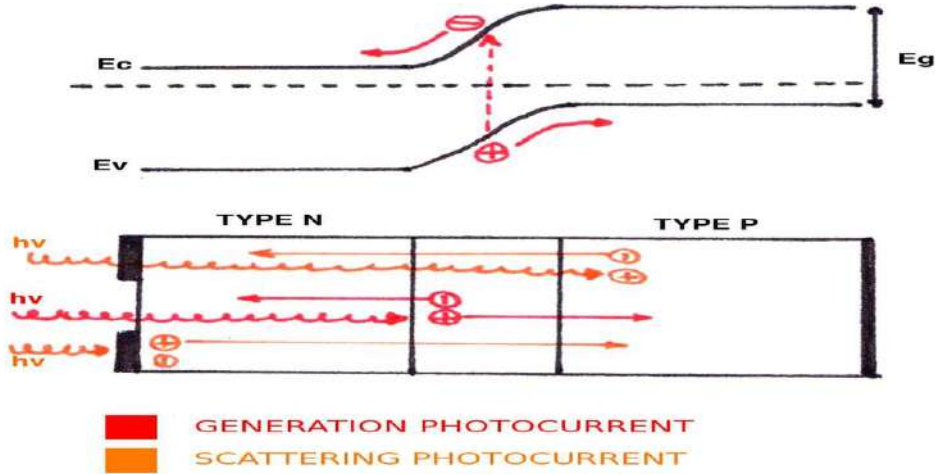
- تحويل طاقة الالكترونات إلى شحنات كهربائية .

- تجميع الشحنات .

من الواضح أن المواد المكونة للخلية الشمسية يجب أن تمتلك خصائص ضوئية وكهربائية تأهلها لهذا التحويل الكهروضوئي .

أن الحقل الكهربائي الناشئ في الوصلة الثنائية يؤدي إلى تفريق الأزواج المولدة (ثقب-إلكترون)

الالكترونات في جهة والثقوب في جهة أخرى كما يوضحه الشكل



شكل (I-10): هيكل (الأسفل) ومخطط نطاق الطاقة (الاعلاء) للخلية الشمسية

الفوتونات الساقطة تولد الأزواج ثقب-P وN وكذلك في المنطقة المفرغة وتوجه هاته الأزواج إلكترون

سيكون مختلف حسب كل منطقة:

- في المنطقتين الثقوب والالكترونات حاملات الشحنة الأقلية سوف تنتشر وعندما

تصل إلى منطقة المفرغة يتم دفعها من طرف الحقل الكهربائي نحو

المنطقة P بالنسبة للثقوب , ونحو المنطقة N بالنسبة للإلكترونات وهذا الانتقال يولد تيار كهر وضوئي .

- الأزواج المولدة في منطقة المفرغة يحدث لها نفس الشيء مما يولد تيار كهر وضوئي آخر .

مجموع التيارين يعطى تيار فوتوني يرمز له I_{ph} وهو تيار الحاملات

الشحنات الأقلية حيث يتناسب مع شدة الإضاءة.

7-2-1- وصف الخلية الشمسية ذات الأغشية الرقيقة:

الخلية الشمسية ذات الأغشية الرقيقة مختلفة عن الخلايا السيليكونية البلورية حيث يتم

ترسيب طبقات رقيقة من أشباه الموصلات على دعامة , هذه الدعامة ممكن أن تكون معدن أو

بلاستيك أو زجاج . تتراوح مجموع سمك الطبقات أشباه الموصلات هذه بين نانومتر إلى 20

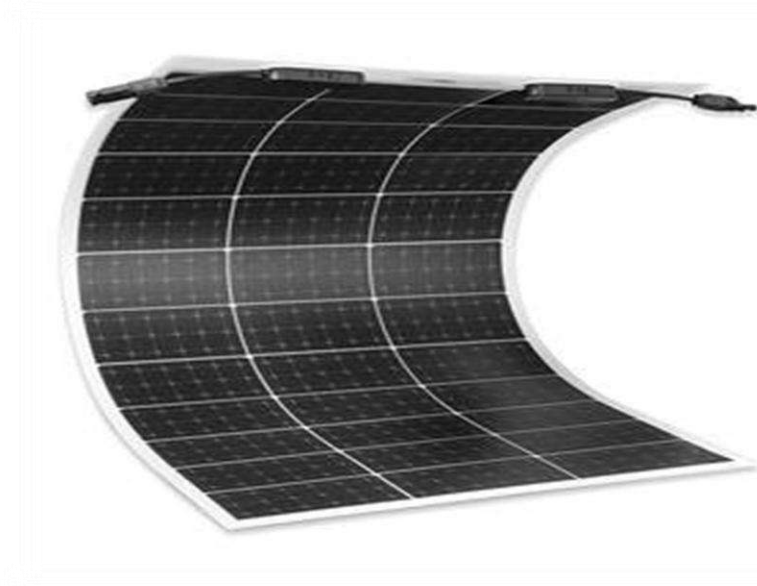
ميكرومتر .

ويصنف هذا النوع إلى ثلاث أقسام رئيسية هي :

*صنف السيلكون غير المتبلور (a-Si)

*صنف تيلوريد الكاديوم CdTe

*صنف الكلوكوبرات



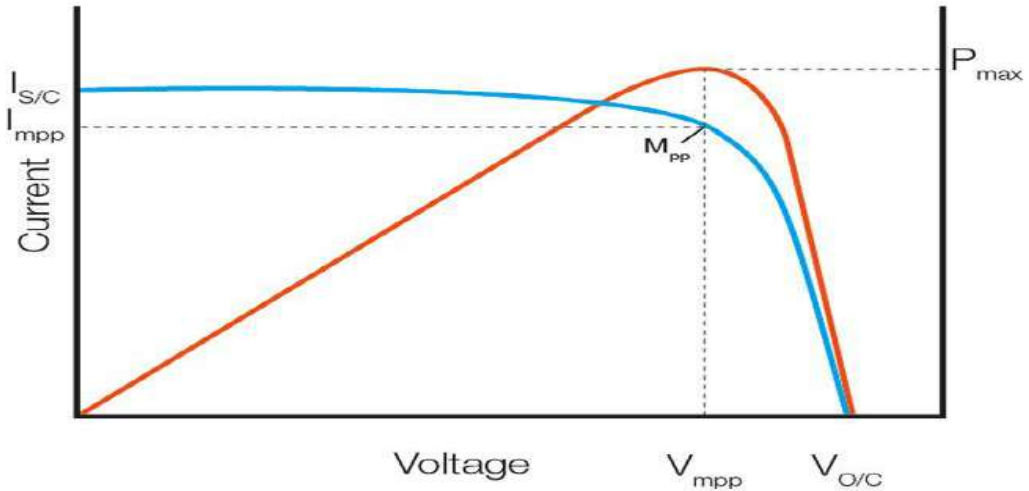
شكل (I-11): غشاء رقيق للخلية الشمسية [21]

هذا النوع من الخلايا الكهروضوئية لها مستقبل واعد لأنها اقل تكلفة من خلايا البلورية أسهل من الناحية التصنيع لكن مردودها مازال ضعيفا مقارنة بالخلايا الشمسية للجيل الأول.

8-2-1 المنحنى المميز للخلية الشمسية :

يبين الشكل المنحنى المميز للتوتر (الجهد) - التيار في الخلية شمسية وهو يمثل تغير التيار بدلالة

التوتر على أقطاب الخلية الشمسية [15]:



شكل (I-12): المنحنى المميز للجهد-التيار للخلية الشمسية [22]

ومن خصائص الخلية الشمسية :

I_c تيار في الدارة القصيرة ويساوي التيار الناتج بواسطة الضوء عند فرقا قيمته تساوي الصفر.

V_c الفولتية في الدارة المفتوحة (التيار يساوي الصفر) ونحصل عليه عندما لا يمر تيار عبر الخلية.

*الاستطاعة الاعظمية p و يكون التيار عندها I_{mp} فرق الكمون V_m [15] حيث:

$$p = I_{mp} \times V_m$$

FF: عامل الامتلاء ويؤخذ بشكل عام [16]:

$$FF = \frac{I_{mp} V_{mp}}{I_c V_c}$$

I-2-9- مردود الخلية الشمسية :

يعرف مردود خلية شمسية وفق المعادلة التالية:

$$\eta = \frac{p}{E \times S}$$

E: طاقة الضوء (W_m^2).

S: مساحة سطح اللوحة (m^2).

I-2-10- طرق تجميع الألواح الكهروضوئية :

I-2-10-1- تجميع الألواح الشمسية على التسلسل:

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) فان التيار الناتج هو نفسه

تيار اللوح

الواحد , أما بالنسبة للجهد المتحصل عليه

فيمثل مجموع الجهد كل لوح شمسي [13-15].

$$I_i = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$V = \sum_i^n = 1V_i$$

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

$$V = \sum_i^n = V_i$$

2-10-2-1- تجميع الألواح الكهروضوئية على التفرع :

في هذه الحالة يتم تجميع الألواح على التفرع من اجل زيادة التيار الحاصل فعند ربط عدد n من الألواح

الشمسية المتماثلة على التفرع فان الجهد الناتج هو نفسه الجهد بالنسبة للوح الواحد اما التيار المتحصل

عليه يساوي مجموع التيارات الخاصة لكل لوح وذلك واضح من خلال العلاقات التالية [14-15] :

$$I = \sum_i^n = nI_i$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

2-11-1- ايجابيات وسلبيات الخلايا الشمسية:

إن استعمال الخلايا الشمسية له العديد من اللمسات الايجابية منها :

* تعتبر الطاقة الشمسية مصدرا آمنا بيئيا , كما أنها طاقة صديقة للبيئة فلا تحدث أي شكل من أشكال تلوث الجو .

* تعتبر مصدرا دائما للطاقة , فلا تفنى إلا عند فناء الكون .

* تشتغل في صمت ولا تصدر أي ضوضاء.

وهناك أيضا بعض العيوب نذكر منها :

* عدم توفر الشمس لطوال اليوم, كما أن وجودها أو عدم وجودها يتغير بتغير فصول السنة

مما يجعل هذا المصدر غير ثابت بالنسبة للكثيرين .

* لا يمكنها إنتاج طاقة في الليل .

* يجب الحرص على تنظيف ألواح الشمسية باستمرار, ويجب إزالة الأتربة والأشياء التي تحجب اللوح الزجاجي عن أشعة الشمس .

I-3-الخلاصة:

في هذا الفصل, قدمنا جزئيين أساسيين, الجزء الأول ذكرنا فيه عموميات والمفاهيم الأساسية على أنصاف النواقل وجزء الثاني تطرقنا فيه إلى بعض الأفكار حول الخلايا الشمسية, ثم شرحنا مبدأ تشغيل الخلية الشمسية وكيفية تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الكهروضوئية و بعض خصائصها الأساسية .

مراجع الفصل الأول:

- [1] احمد الحصري , جهاد أبو العنجاج , عمر طه , الفيزياء العلمية "تجارب ومسائل", ديوان المطبوعات الجامعية - الجزائر
رقم النشر 2, 03, 3570
- [2] H. mathiu , <<physique des semi conducteurs et decomposant électronique>>
- [3] نجيب صالح نصر, علي مصباح اشطبية , فوزي محمد عون , تجارب معملية في مبادئ الهندسة الكهربائية و الالكترونية
والتوزيع (2002) دار الكتب العلمية للنشر
- [4] C. kittel , physique de l'état solide , édition dunod , paris (1998)
- [5] A. chovet , P. Masson <physique des semi-conducteurs> Département micro-
électronique et télécommunication (2004-2005)
- [6] قايس رحمة, دراسة عن طريق المحاكاة بالماتلاب للمردود الخلية الكهروضوئية بدلالة درجة الحرارة والإضاءة.
- [7] فوزي غالب العوض, خضر محمد عبد الرحمان الشباني, عادل مجدوب علي حسيب , تطبيقات فيزياء الجوامد الطبعة الأولى جامعة
المالك سعود (1992).
- [8] عاهد علي الخطيب, مبادئ تحويل الطاقة, دار الشروق للنشر والتوزيع الطبعة الأولى (1989).
- [9] Naima Toufik . contribution à l'étude d'une cellule solaire en couches mince à base
de $c_u I_{u 1-x} G_a x S_e x$ thèse de doctorat , université constantine (2005)
- [10] B .Dendib , "Technique conventionnelles et avancée de poursuite MPPT pour des
application photovoltaïque : étude comparative," Université Ferhat Abbes-Sétif
Mémoire de Magister .Département d'électronique TS4/6338 ,2007
- [11] <http://www.énergies renouvelables.org /solaire-photovoltaïque.asp>. consulté
le 2020/09/09
- [12] Fabien TSIN <<Développement d'un procédé sur grande surface électrodépot
d'oxyde de zinc comme contact avant transparent et conducteur de cellules solaires à base
de $cu (I_n G_a) S_e$ >> thèse de Doctorat de l'université pierre et Marie SORBONE -2016
- [13] عبد الباسط علي صالح كرمان , توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية "أنظمة الطاقة الفولتضوئية" مركز الدراسات
العربية (2011).
- [14] محمد فيصل سعيد , نحو استخدام امثل للطاقة الشمسية في اليمن , مؤسسة قرار الاعلام والتنمية المستدامة (2014).
- [15] بسام حمود نظم الطاقات المتجددة "التكنولوجيا-الحسابات" دمشق (2004).

[16] Thomas Mambrini, caractérisation de panneau solaires photovoltaïques en condition réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies ,thèse de doctorat , université paris-sud (2014)

[17] [http://www.solarserver.de / ?gclid=CJWA1ruS-K4CFS4NtAodSzY7xw](http://www.solarserver.de/?gclid=CJWA1ruS-K4CFS4NtAodSzY7xw).consulté le 09/09/2020

[18] بو فاس شريف , بلالية ربيع , الملتقى الوطني حول: المؤسسات الاقتصادية الجزائرية واستراتيجيات التنوع الاقتصادي في ظل انهيار الأسعار , تفعيل استخدام الطاقة المتجددة كإستراتيجية للتنوع الطاقوي في الجزائر.

[19] E .Jaleel .Mahdi " ,Assessment of solar Energy potential for photovoltaic systems Applications in Iraq " Doctor of philosophy in physics U niversity of Baghdad college of science 2018

[20] محمد الشرعي , الفريد التكنولوجي . موجات الميكروويف وتطبيقاته في الاتصال التربوي 2009

[21] <http://www.m.arabic-alibaba.com>

[22] Anne Labouret , pascal Cumunel, Jean –Paul Brun, Benjamin Faraggi, Cellules "les bases de l'énergie photovoltaïque " 5^{ème} édition (2016)

[23] <http://www.osterfilms.com>

[24] صلاح احمد , موديلات ومصنوعات الخلايا الشمسية 2021/11/13

[25] Y.Marouf, "Modélisation des cellules solaires en InGa_N en utilisant atlas silvaco "Mémoire magistère .université Mohamed kheider-Biskra 2013

[26] شايب احمد , أسرار الكون "مجموعة الكوكب الذري الفضائية", دار شريفي للطباعة والنشر والتوزيع , الطبعة الأولى (2013)

[27] عبد الله محمد خطايبه , عبد الرؤوف محمد الديري , حكم عبد الجبار صوالحة , بركات البطانية العلوم الطبيعية , دار المسيرة للنشر والتوزيع والطباعة , الطبعة الأولى, (2009)

[28] امل جاسم الخلايا الشمسية : الحرية الالكترونية في النظام الهندسي , الهيئة العامة للبيئة العدد 146- 2013

[29] <http://tpeenergie photovoltaïque-e-monsité.com/pages/remerciements.htm>

[30] ناصر بن عبد الله الرشيد, الترانزستور, مجلة العلوم والتقنية "كيف تعمل الأشياء" العدد السادس وستون (1424هـ)

[31] كمال فرقوري, فيزياء أنصاف النواقل "تطبيق على الموصلات", منشورات جامعة منتوري - p-n قسنطينة (1999).

الفصل الثاني :

معميات حول الانخشة الرقيقة و استعمالها في

الخلايا الشمسية

II-1-1-تمهيد :

في الفصل الأول تناولنا بعض التعريفات و المفاهيم والخصائص لفيزياء انصاف النواقل ، وفي هذا الفصل سنتعرف على الاغشية الرقيقة مفهومها ، مبدأ وطرق ترسيبها ، آليات نموها ، وتطبيقاتها ، بالإضافة إلى لمحة عامة حول مركب تيلورايد الكادميوم .

II-1-1-مفهوم الاغشية الرقيقة :

تعد فيزياء الاغشية الرقيقة من الفروع المهمة لفيزياء الحالة الصلبة والتي تبلورت عنها وأصبحت فرعاً قائماً بحد ذاته [1] ، حيث أسهمت تقنية الاغشية الرقيقة إسهاماً كبيراً في دراسة أنصاف النواقل التي بدأ الاهتمام فيها منذ أوائل القرن التاسع عشر ، وأعطت فكرة واضحة عن العديد من خواصها الفيزيائية والكيميائية التي تختلف عن خواص المواد المكونة لها وهي في حالتها الحجمية " الكمية " [2] .

تمتاز الأغشية الرقيقة بخصائص ومميزات أخرى ، مما دفع بالباحثين إلى إيجاد عدة طرق لتحضير هذه الطبقات ، وبعد تطور البحث العلمي تطورت طرق تحضير الأغشية الرقيقة بدرجة عالية من الدقة في تحديد سمك الطبقة وتجانسها ، وقد تكون بعض الطرق تتناسب مع مواد معينة وغير ملائمة لمواد أخرى وقد نستطيع تحضير الأغشية بسهولة لبعض المواد وممكن أن تكون صعبة الحصول و معقدة لمواد أخرى [3].

II-1-2- تعريف الأغشية الرقيقة :

الاجشية الرقيقة هي عبارة عن ترتيب لعناصر مادة في بعدين بحيث يكون البعد الثالث [4]، الفرق الجوهرى بين المادة في الحالة الصلبة هو بالسمك حيث لا يتعدى الواحد ميكرومتر. في الحالة الصلبة للمادة عموماً نهمل دور الحدود (السطوح) في الخصائص، ولكن في حالة الطبقات الرقيقة يكون العكس تأثير السطوح على الخصائص يكون هو الغالب ، حيث كلما زاد انخفاض السمك زاد تأثير السطوح في الخصائص الفيزيائية [5].

ترسب الاغشية الرقيقة دائما يكون على الركيزة تستند إليها وتكون من زجاج، السيلكون، الألمنيوم وغيرها اعتمادا على طبيعة الدراسة أو الحاجة العلمية [6]، لهذا يجب الاخذ بعين الاعتبار هذه الحقيقة أثناء تحضير الغشاء وهي أن طبيعة الركيزة لها اثر كبير على خصائص البنيوية للأغشية الرقيقة المرسبة عليها [5].

II-3-1- تطبيقات الاغشية الرقيقة:

استخدمت الاغشية الرقيقة في مجالات علمية وتقنية عديدة حيث كانت لتطبيقاتها العلمية مختلفة أثرا واضحا ومن هذه التطبيقات [7]:

- أ- **التطبيقات الالكترونية:** مثلا في صناعة الثنائيات (diodes)، الدارات المتكاملة، أقطاب التوصيل، كما استخدمت الاغشية في صناعة الثنائيات الباعثة للضوء.
- ب- **التطبيقات الضوئية:** مثل استعمال الاغشية الرقيقة في صناعة الخلايا الشمسية والصمامات الضوئية وكذلك في صناعة الألياف البصرية المستخدمة في نقل المعلومات.
- ت- **التطبيقات المغناطيسية:** تم توظيف الاغشية الرقيقة في صناعة أجهزة الذاكرة المغناطيسية، الكاشف، المضخات، كما استعمل في صناعة الأقراص الليزرية المدججة.
- ث- **التطبيقات البيولوجية:** أجهزة الاستشعار البيولوجية الدقيقة، الرقائق الحيوية والمواد المتوافقة حيويا.
- ج- **التطبيقات الكيميائية:** تستعمل في مواد الطلاء لمقاومة التآكل، أجهزة استشعار الغاز، الدهانات الواقية....
- ح- **التطبيقات في المجالات الحرارية:** حيث ظهرت في المفاعلات الحرارية وذلك باستخدام طبقة أو حاجز ليقفل من التبادل الحراري بين الوسط الداخلي والخارجي وبالتالي تحسين أداء المفاعلات (زيادة درجة الحرارة الداخلية).

II-4-1- مميزات الأغشية الرقيقة :

إن مزايا الطبقات الرقيقة تأتي من الاستعمال الاقتصادي لطبقة رقيقة من مادة لها خصائص فيزيائية مرغوبة باستعمال تقنية سهلة من التقنيات توضع الطبقات الرقيقة (تجهيز سهل ومواد غير مكلفة). إن الطبقة الرقيقة مهما كانت الطريقة المستعملة لصناعتها تكون مرتكزة على الركيزة فهي تعتبر كجزء لا يتجزأ منها لهذا يجب أن نأخذ بعين الاعتبار بان الركيزة لها تأثير قوي على الطبقة المتوضعة [8].

II-5-1- آلية تشكل الطبقات الرقيقة :

هناك دائما ثلاث خطوات في تشكيل ترسيب طبقة الرقيقة:

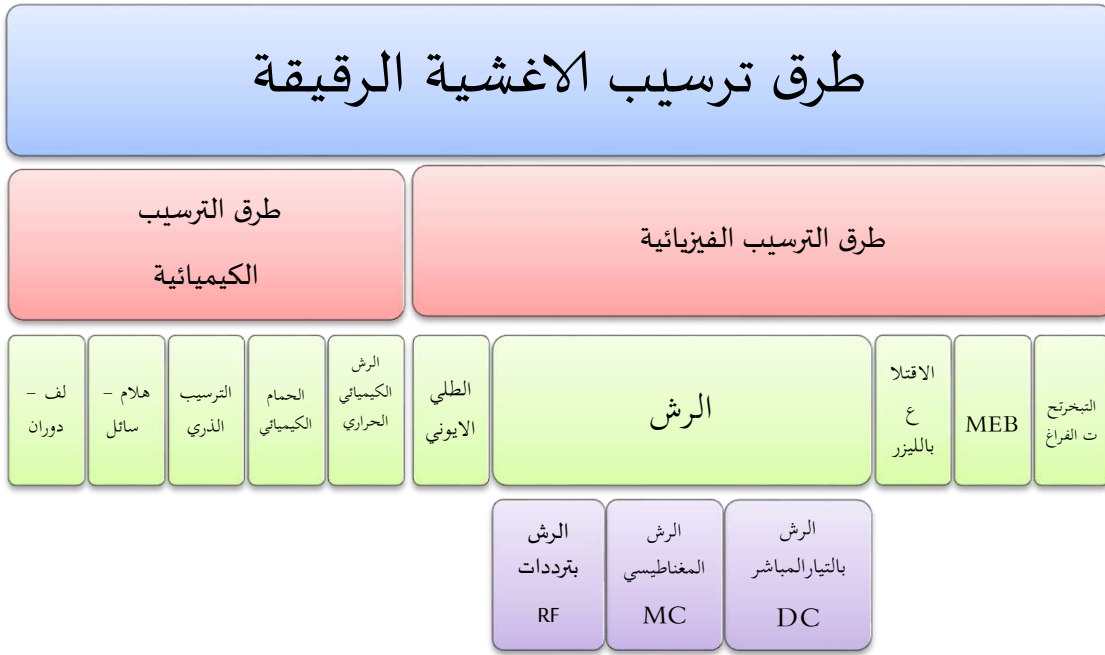
* تحضير أو إنشاء الأنواع المراد ترسيبها على شكل ايونات أو جزيئات أو ذرات.

* نقل هذه المواد المترسبة إلى ركيزة.

* تكتيف الجزيئات ونمو طبقة على الركيزة التي تكون في غالب زجاج، إما بطريقة غير مباشرة أو عن طريق التفاعل الكيميائي لتشكيل ترسبات صلبة وفي أثناء الخطوة الأخيرة تحدث المراحل التالية: التوضع، الالتحام والنمو.

II-6-1- طرق ترسيب الأغشية الرقيقة :

إن طريق تحضير الأغشية الرقيقة أهمية كبيرة، وذلك لما تمتلكه من تأثير كبير على الصفات الفيزيائية للغشاء، بحيث تنوعت طرق ترسيب الأغشية الرقيقة مع تطور البحث العلمي وعادة نحصل على الطبقات الرقيقة عن طريق صنفين أساسيين وهما طرق الفيزيائية وطرق الكيميائية، يوضح الشكل مخططا لبعض تقنيات تحضير الأغشية الرقيقة



الشكل (II-1): مخطط يوضح بعض الطرق الفيزيائية والكيميائية .

II-1-7- طرق الترسيب الفيزيائية :

II-1-7-1- التبخرت تحت الفراغ :

تعتمد تقنية الترسيب الفيزيائي للأبخرة على التبخر الحراري للمواد تحت الضغط منخفض من

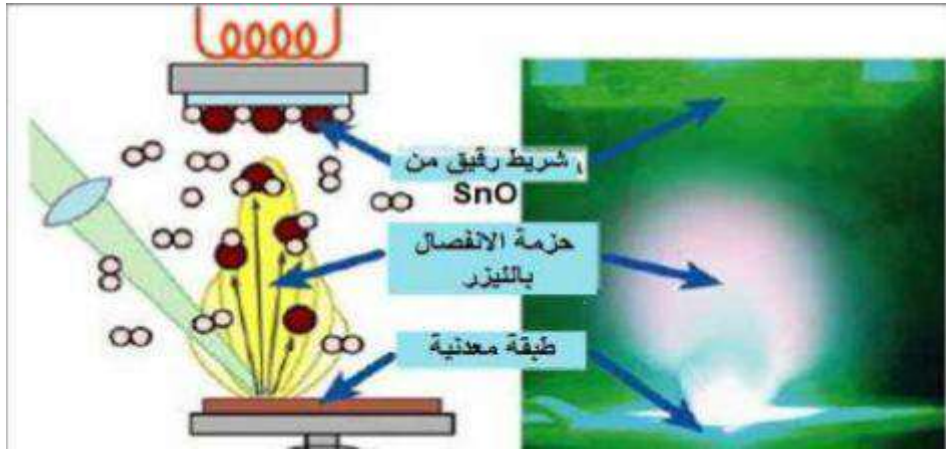
10^{-2} إلى 10^{-4} (Mbar) [11].

إذا تختلف هذه الضغوط باختلاف المواد المستعملة لتحضير الاغشية ، ثم تسخن المادة إلى درجة حرارة الانصهار وذلك بإمرار تيار كهربائي عالي الشدة ونتيجة لذلك تبخر المادة وترسب على القاعدة مكونة الغشاء الرقيق ، وتعد هذه الطريقة ملائمة لتبخر أكثر المعادن وأشباه الموصلات .

II-2-7-1- الانفصال بالليزر :

يمثل الانفصال بالليزر في تركيز حزمة من الليزر على مادة بهدف التبخر وتكثيف الجزيئات المؤينة (PLD) على الشريحة الساخنة أولاً، والتي لها طاقة حركية عالية (العشرات من الكيلو إلكترونات فولت) وكذلك تعرض الطبقات الرقيقة لمختلف المواد إلى ليزر بأطوال موجية تمتد من الأشعة فوق البنفسجية إلى ما تحت الحمراء [14].

وشكل التالي يوضح ذلك:



شكل (II-2): رسم تخطيطي يبين تقنية البتر او الانفصال بالليزر

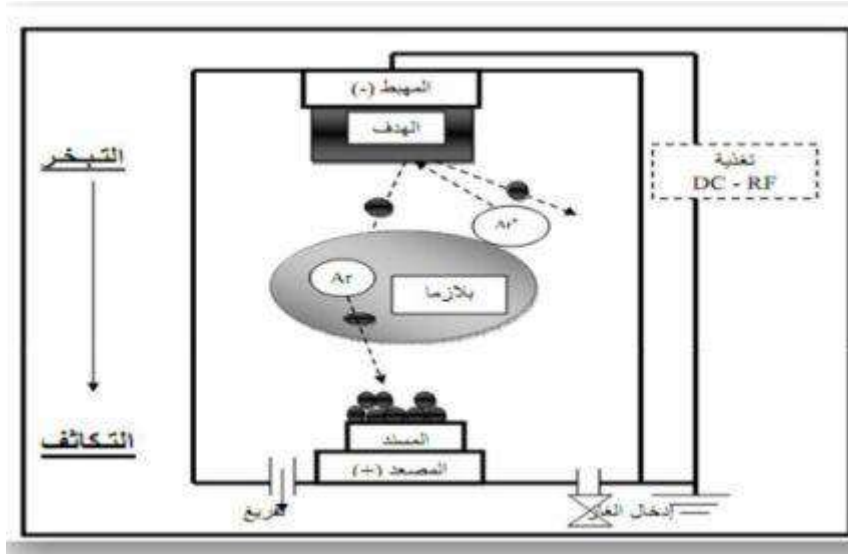
وتجريبيا لوحظ بان تحسين جودة الترسيب بهذه التقنية تنتج من تناقص الاخطاء و التزايد في قوام الحبيبات ، في حين لها حدود في بعض الأحيان بسبب إمكانية عدم نجاح الليزر إضافة إلى تكاليفه العالية. [15]

II-3-7-1- الرش المهبطي :

ظهرت هذه التقنية منذ 1852 من طرف Plücker ثم Grove ، الذي أثبتتها باستخدام تفريغ كهربائي بين الكترودين (المصعد والمهبط)، يفصل بينهما فراغ يحتوي على غاز خامل في ضغط منخفض ، حيث ظهرت على مصعد شرائح رقيقة . استغرق هذه الظاهرة وقتا طويلا وذلك لتأثير عدة عوامل منها مدة حياة الذرات ، و مع مرور الزمن تمت دراستها وتطويرها لإنتاج أسرع للطبقات الرقيقة .

❖ المبدأ العام للرش المهبطي :

التفريغ الكهربائي للغاز المستخدم عموما يكون غازاً كغاز الأرجون ، الرسم التخطيطي لمبدأ الرش المهبطي والذي يتمثل في اقتلاع ذرات مادة الهدف على المهبط الذي يحمل جهداً سالبا (5- kV) 3) بالنسبة للمصعد وموازيا له ، تفصل بينهما مسافة بين (1~10²) Pa تتسارع الايونات الطاقوية تحت تأثير الحقل الكهربائي الناتج ، متجه نحو المهبط فتتصادم مع مادة الهدف ، ويتبادلان كمية الحركة فيما بينهما ، ينتج عن ذلك اقتلاع الذرات محايدة كهربائيا تتوضع على صفيحة مستوية متصلة بالمصعد تسمى "المسند" ، مشكلة شريحة مهجرية تتمثل الطبقة الرقيقة .



شكل (II-3): رسم تخطيطي لجهاز الرش المهبطي .

تتميز هذه الظاهرة بالمردود S_i الذي يمثل النسبة بين الذرات المقتلعة و الذرات الواردة

$$S_i = \frac{N_p}{N_i} \quad (1 - II)$$

N_p : العدد الذرات المقتلعة

N_i : عدد ذرات الواردة .

ويتعلق هذا المردود بالمعاملات التالية :

1. طبيعة الايونات الواردة (المادة و حالة السطح).
2. طاقة الايونات الواردة .
3. زاوية الورود .

❖ أنواع الرش المهبطي :

1- الرش المهبطي المستمر: الرش المهبطي المستمر يسمح فقط بتوضع المواد الناقلة أو نصف الناقلة ، حيث يتم تطبيق جهد سالب ومستمر على المهبط ، يولد تفريغا كهربائيا (تأين الغاز) و ظهور ايونات طاقوية ذات طاقة حركية عالية ، تنتجها نحو المهبط لاقتلاع ذراته وترسبها على المستند ، مشكلة طبقة رقيقة .

2- الرش المهبطي المتناوب: ذكرنا في الفقرة السابقة أن الرش المهبطي المستمر يسمح فقط يتموضع المواد الناقلة والنصف الناقلة ، أما إذا كانت مادة الهدف عازلة فان الجهد المستمر المطبق لا يمكنه

فصل الشحنات المحمولة مع الايونات ، وتتراكم على سطح الهدف . مشكلة مجالا كهربائيا يعمل على أبعاد الايونات .

إذا طبقنا جهدا متناوبا يزول فعل هذا المجال الكهربائي خلال الاهتزازة السالبة منها حيث يتم جذب الأيونات نحو المهبط إلى أن يحسن بكمون موجب ، في هذه المرحلة تحدث عملية الرش و توضع الطبقات ، أما خلال الفترة الاهتزازة الموجبة من هذا الاستقطاب تتسارع الالكترونات نحو المهبط ويحدث التعادل الكهربائي بين الشحنات الموجبة والالكترونات [16].

✚ مميزات الطرق الفيزيائية :

- 1- تحضير الأفلام وهي جافة .
- 2- عالية النقاء ونظيفة .
- 3- تلائم أشباه الموصلات في تصنيع الدوائر المتكاملة .

✚ عيوب الطرق الفيزيائية :

- 1- معدلات الترسيب بطيئة .
- 2- يصعب التحكم في التوافق .
- 3- تلزم طاقة عالية مما يرفع التكلفة . [17]

II-8-1- طرق الترسيب الكيميائي :

في تقنيات الترسيب الكيميائي ، لانستعمل مصدر صلب و إنما متفاعلات غازية . يتم الحصول على الطبقات الرقيقة التي تنتجها تقنيات ترسيب البخار الكيميائي عن طريق التفاعلات الكيميائية بين المتفاعلات الغازية و طور البخار والركيزة .

II-8-1-1- الترسيب الكهربائي :

❖ أغشية الكاثود : تتضمن هذه الطريقة إمرار تيار كهربائي داخل محلول الالكتروليتي للمادة المراد تحضير غشاء منها ، إذ تتمحور ايونات المحلول وتلتصق بالقطب السالب (الكاثود) مكونة غشاء

رقيق ، في هذه الطريقة بالسيطرة على سمك الغشاء من خلال السيطرة على التيار المار في المحلول .
وتمتاز الاغشية المحضرة بهذه الطريقة بالتصاقها القوي بالقاعدة ، إلا أنها ضعيفة التجانس .

❖ أغشية الانود :تستخدم هذه الطريقة لتحضير الاغشية اكاسيد المعادن ،وذلك يجعل المعدن المراد تحضير الاغشية من الاكاسيده قطبا موجبا ، فعند إمرار تيار كهربائي الاليكتروليتي بدأ طبقات أكسيد المعدن بالنمو على القطب الموجب ، والأغشية المتكونة بهذه الطريقة تكون شديدة الالتصاق بالقاعدة .

II-1-8-2- الترسيب الللاكهربائي :

تستخدم هذه الطريقة لتحضير أغشية المعادن وأشباه الموصلات ، إذ يتم إدخال المادة المراد طلاؤها في حوض يحتوي على محلول ايونات الفلز المراد ترسيبه مع عدم وجود تيار كهربائي ، ونتيجة لعمليات التأكسد والاختزال ووجود المواد الوسطية تتم عملية الترسيب .

II-1-8-3- ترسيب الذري :

تستخدم هذه الطريقة للحصول على أغشية رقيقة نقيه من المعادن و أشباه موصلات و العوازل و لذلك من خلال تبخير المادة من مركب متطاير ويتفاعل بخار المادة مع الغازات والسوائل أو مع الأبخرة الأخرى على القاعدة المراد ترسيب عليها ، وينتج عن هذا التفاعل نواتج غير متطايرة تترسب تدريجيا (ذرة بعد ذرة) على قاعدة مكونة غشاء رقيقا .

+ مميزات طرق الكيمائية :

- 1- لبساطتها وإهمالها .
- 2- منخفضة التكاليف .
- 3- تحتاج إلى طاقة منخفضة (درجة حرارة منخفضة) .
- 4- استخدمت بنجاح في تحضير المعادن الثلاثية .

+ قواعد اختيار طريقة الترسيب المناسبة من بين الطرق الكيمائية:

- 1- فعالية التكلفة .
- 2- يكون قادرا على ترسيب المواد المطلوبة .

- 3- إتاحة السيطرة على التركيب الدقيق والسيطرة على التعليم .
- 4- عملية انخفاض درجة الحرارة .
- 5- وفرة من المواد الأولية
- 6- إمكانية توسيع العملية .
- 7- التحكم في درجة الشوائب والأفلام المتكونة على الركيزة. [17]

II-2- الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمركب تيلورايد الكاديوم CdTe

II-2-1- المقدمة:

تيلورايد الكاديوم هو مسحوق بلوري اسود يتكون من عنصر الكاديوم $z=48,4 d^{10}5s^2$ وعنصر التيلوريوم $z=52 4d^{10}5s^25p^6$ ، وهي عبارة عن مادة محصورة بكبريتيد الكاديوم من اجل تشكيل خلية شمسية كهروضوئية احد مركبات شبه الموصلة للمجموعة (الثانية - السادسة) فهو ينتمي إلى مجموعة مركبات الجالكوجينات . يتميز هذا المركب البلوري لامتلاكه أكبر معدل عدد ذري من بين المركبات مجموعته , حيث يقع كل من تيلورايد الكاديوم في الصف الرابع من الجدول الدوري . ويتميز هذا المركب أيضا بامتلاكه أعلى ثابت شبكة من بين مركبات المجموعة ذاتها ، كما له توصيلية كهربائية موجبة وسالبة ، حسب نوع الشائبة المضافة . كما لديه قابلية منخفضة للذوبان في الماء ، وهي محفورة بواسطة العديد من الأحماض وهي متوفرة تجاريا على شكل مسحوق [11]. يعد هذا الأخير مادة مناسبة تماما للأغشية الرقيقة لاستخدامها في التحويل الكهروضوئي نظرا لخصائص الجيدة :

*فجوة طاقته تبلغ 1.45 فولتا و مناسبة تماما للطيف الشمسي .

*فجوة طاقة مباشرة تضمن امتصاصا ضوئيا عاليا .

*مناسب لتقنيات النمو البسيطة منخفضة التكلفة .

يتم ضمان تحويله إلى موصلية N هو بشكل طبيعي من نوع P عن طريق التلدين عند 400 درجة مئوية. تولد هذه العملية الأخيرة العديد من المشاكل الانتشار البيئي لظهور عيوب في الواجهة والتي تعتبر

مراكز إعادة التركيب للحوامل المولدة ضوئياً. ومع ذلك فإنه يمتاز بامتصاص بصري قوي في حدود 10 سم للإشعاع ذي الأطوال الموجية القريبة من 800 نانومتر.

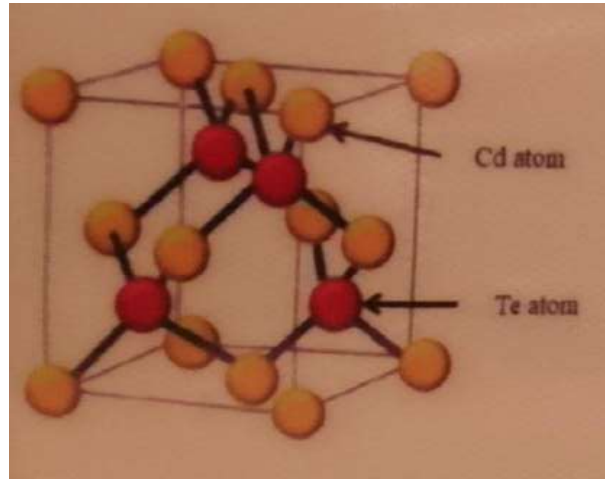


شكل (II-4): معدن الكاديوم (اليمن) معدن التيلوريوم (اليسار)

II 2-2 خصائص عامة لتيلورايد الكاديوم:

التركيب البلوري : نوع الهيكل CdTe هيكلان بلوريان ممكنان في حالة المركب الشائبي : الهيكل سداسي مضغوط والآخر مكعب (خليط من الزنك) يتم ترتيب ذرات الكاديوم و تيلورايد في شبكتين ممركة الأوجه يقابلان بعضهما بمقدار ربع قطر المكعب الشبكي .

عقد احد المشابك المكعبة ذات الأربطة المركزية تحتها ذرات الكاديوم بينما تشغلها ذرات تيلورايد كما في شكل أدناه،العقد موجودة في الشبكة الأخرى نوع واحد بينما يوجد أربع ذرات من نوع الآخر مرتبة عند رؤوس رباعي المنتظم .



شكل (II-5): البنية البلورية لمركب تيلورايد الكاديوم.

الخصائص الكيميائية	
CdTe	الصيغة الكيميائية
240.01 غرام لكل مول	الوزن الجزيئي
الكاديوم-12 تيلورايد-16	المجموعات
مكعب	الشكل البلوري
6.482 انغسروم	ثابت شبكته
F_{43m}	المجموعة الفراغية

شكل (II-1): الخصائص الكيميائية لمركب تيلورايد الكاديوم. [18]

الخصائص الكهربائية	
10.2	ثابت العزل الكهربائي
11.44 إلكترون فولت	فجوته
65vs/cm ²	HoelMobility
700vs/cm ²	Electron Mobility

شكل (II-2): الخصائص الكهربائية لمركب تيلورايد الكاديوم.

الخصائص الحرارية	
$5.9k/10^{-6}$	معامل التمدد الحراري
0.21J/kg	السعة الحرارية
0.06w/cm k	توصيل الحراري

شكل(II-3) : الخصائص الحرارية لمركب تيلورايد الكادميوم

الخصائص الميكانيكية	
5.85غرام/سم	الكثافة
1092درجة مئوية	درجة الانصهار
1130درجة مئوية	درجة الغليان
52غيجا باسكال	معامل يونج
108	معامل التمزق
0.41	نسبة بواسون

شكل (II-4):الخصائص الميكانيكية لمركب تيلورايد الكادميوم .

الخصائص الالكترونية			
خصائص الطبقة			
	SnO2	CdS	CdTe
W(nm)	500	25	4000-6000
ϵ/ϵ_0	9	10	9.4
μ_e	100	100	320
μ_h	25	25	40
N ;p	n : 10^{17}	n : 10^{17}	P : $2 \cdot 10^{14}$
Eg	3.6	2.4	1.5
Nc	$2.2 \cdot 10^{18}$	$2.2 \cdot 10^{18}$	$8 \cdot 10^{17}$
Nv	$1.8 \cdot 10^{19}$	$1.8 \cdot 10^{19}$	$1.8 \cdot 10^{19}$
$\Delta Ec'$	0		-0.1

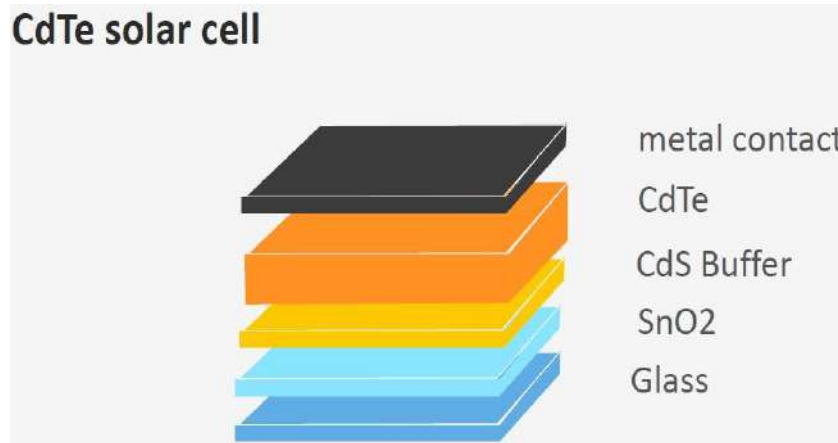
شكل(II-5) :الخصائص الالكترونية لمركب تيلورايد الكادميوم.[19]

الخصائص الضوئية	
معامل الانكسار	2.67

شكل(II-6) : خصائص الضوئية لمركب تيلورايد الكاديوم.[20]

II-3-2 إنتاج الخلايا الشمسية لتيلورايد الكاديوم:

تتكون الخلايا الشمسية ل(CdTe) الأكثر شيوعا من بنية غير متجانسة (P – n)تحتوي أو طبقة نافذة من أكسيد الزنك CdS (n-doped) متطابقة مع p على طبقة من (CdTe)، كما تتضمن تقنيات ترسيب الأغشية الرقيقة النموذجية MZO المغنسيوم عملية الترسيب نقل البخار والتسامي متقارب المسافات .



شكل(II-6) : يبين تموضع طبقات الخلية كهر وضوئية.

تشمل فوائد الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة (CdTe) :

* **امتصاص عالي** : حيث إن مركب الكاديومتيلورايد عبارة عن مادة ذات فجوة نطاق مباشرة يمكن ضبطها من 1.4 إلكترون فولت إلى 1.5 إلكترون فولت ، وهي مثاليا تقريبا من عملية التحويل ضوء الشمس إلى كهرباء باستخدام تقاطع واحد.

* **تصنيع منخفض التكلفة:** تستخدم الخلايا الشمسية من الكاديوم تيلورايد طرق تصنيع عالية الإنتاجية لإنتاج وحدات مكتملة من مواد الإدخال في غضون ساعات [12].

❖ امتصاص الضوء في أشباه الموصلات :

يشير تعريف التعريف الكهروضوئي المذكور سابقا انه إذا اكتسبت الالكترونات نطاق التكافؤ لأشباه الموصلات طاقة كافية من الضوء فيمكن أن ينتهي بها الأمر في نطاق التوصيل وبالتالي إنشاء زوج ثقب الكتروني.

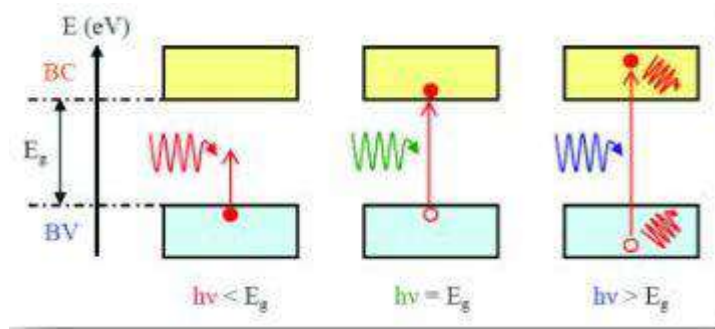
إن امتصاص الفوتون من الطاقة $h\nu$ بواسطة الكترونات مادة اشباه الموصلات وانشاء زوج الالكترون/ثقب المخصص لتوليد تيار كهربائي هو اصل التأثير الكهروضوئي .

يتم التحكم في الامتصاص الطاقة هذا من خلال قيمة الفجوة الضوئية للمادة المضيفة وبالتالي يمكننا تحديد ثلاث سيناريوهات وفقا للطاقة:

1- الطاقة الأولى اقل من طاقة الفجوة E_g في هذه الحالة الطاقة المكتسبة بواسطة إلكترون يقع فوق مستوى التكافؤ غير كافية حتى يتمكن من عبور حاجز الطاقة الذي يفصله عن حالات التوصيل وبالتالي فان جميع الفوتونات التي تحتوي على طاقة اقل من E_g لا يتم تحويلها إلى أزواج إلكترون / ثقب وبالتالي لا يمكنها المشاركة في إنشاء تيار كهروضوئي النهائي .

2- الاحتمال الثاني يتوافق مع الحالة المثالية حيث الطاقة $h\nu$ للفوتون الساقط هي طاقة الفجوة ، في ظل هذه الظروف تكتسب الالكترونات طاقة كافية لتشكيل الإلكترون/ثقب ، وبالتالي فان الفجوة الطاقة تحدد حد الطاقة لظاهرة الامتصاص

3- أخيرا يتوافق الاحتمال الأخير مع الحالة التي تكون فيها طاقة الفوتون اكبر من طاقة الفجوة ن في هذه الحالة يكون تحويل الفوتونات إلى أزواج من الإلكترون / ثقب ممكنا ، لكن جزء من الطاقة الممتصة يتبدد في شكل فونونات تمثل هذه الطاقة الزائدة حسارة ولكنها ستؤدي إلى ظاهرة تسخين مادة الحرارة



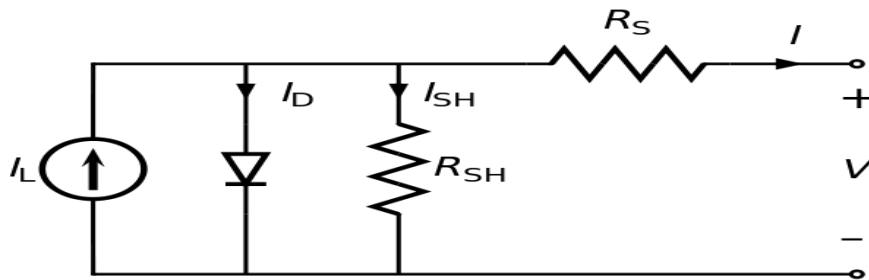
شكل(II-7) : السيناريوهات الثلاثة التي توضح امتصاص الفوتون بواسطة أشباه الموصلات

يتطلب امتصاص و تحويل الفوتون إلى أزواج من الإلكترون و الثقوب الموصوفة على هذا النحو مادة يتم فيها مرور الإلكترون من أعلى حزمة التكافؤ إلى أسفل حزمة النقل بطريقة مباشرة [21]

II-42- الرسم البياني المكافئ لخلية شمسية :

يتكون اوسط نموذج لتمثيل الخلية الكهروضوئية من منبع تيار موصول على التوازي مع ثنائي الديود يوضح شكل أدناه نموذج الدارة المكافئة الموسعة الذي يعطي توصيفا جيدا في اغلب التطبيقات حيث يضاف تأثير مقاومة تسلسلية R_s للممانعة لمرور التيار ومقاومة تفرعيه R_{sh} تمثل التسريبات في الخلية الكهروضوئية .

كلما انخفضت قيمة R_s أو زادت قيمة R_{sh} كلما كانت خلية الكهروضوئية ذات كفاءة عالية ، والحالة المثالية تحقق عندما $R_s=0$ و $R_{sh} = \infty$ ، وبشكل علمي فان R_s للخلية الكهروضوئية عبارة عن بضعة ميلي اوم و R_{sh} اكبر من 10 اوم [22] .



شكل(II-8) : نموذج الدارة المكافئة لخلية شمسية .

يمكن بتبسيط مقبول إهمال المقاومة التفرعية $R_{sh} = \infty$ ومن ثم باستخدام قانون كيرشوف للعقدة يمكن كتابة المعادلة الآتية [22] :

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

بحيث :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{u + I R_s}{n k T / q} \right) - 1 \right) \quad (3-II)$$

I : تيار الخلية (A).

I_{ph} : التيار الضوئي (A).

I_0 : تيار التشبع العكسي (A).

R_s : التسلسل على المقاومة (Ω).

R_{sh} : المقاومة على التوازي (Ω).

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

q : الالكترن شحنة $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$.

T : درجة الحرارة المطلقة للخلية (K°).

u : الخلية في المولد الجهد (V).

II-5-2 تطبيقات مركب تيلورايد الكاديوم :

* الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة .

* بصريات الأشعة تحت الحمراء .

* كاشفات .

* المغيرات الكهروضوئية .

* قطع الكريستال للترسيب بالفراغ [12]

II-2-6- استخداماته :

يستخدم تيلورايد الكاديوم كمادة لصنع الخلايا الشمسية ، حيث أنها غالبا ما توضع بين طبقتين من كبريتيد الكاديوم لتشكيل الخلية الشمسية ذات وصلة موجبة سالبة . كما انه يدخل في تركيب رقائق الخلايا الشمسية ، والتي تمتاز بأنها اقتصادية من حيث تكاليف التصميم ، لكنها اقل كفاءة من عديد السيلكون . يمكن لهذا الأخير أن يشكل سبيكة مع الزئبق ليعطي تيلورايد كادميوم زئبق والمستخدم لتصنيع مكشاف تحت الأحمر . كما يمكن لتيلورايد الكاديوم أن يشكل سبيكة مع الزنك ليعطي تيلورايد كادميوم زنك ، والذي يمتاز بأنه مكشاف جيد لأشعة غاما والأشعة السينية . وبالتالي فان تيلورايد الكاديوم يمكن أن يستعمل كمكشاف لعدة تطبيقات في المطيافية النووية ، وذلك عند درجة الحرارة الغرفة [13].

المراجع :

- [1] G. Has and R.E. Thun, "physics of thin film", academicpress, New York, (1966).
- [2] K.L. Yusta, M.L. Hitchman and S.H. Shamlan, CVD preparation and characterization of tin dioxide films for electro-chemical applications, journal of materials chemistry, vol7, p1421, (1997).
- [3] Kermiche, « Elaboration De Couche minces ZnO par ablation laser et caractérisation physique » Thèse doctorat en sciences en physique, université frères mentouri Constantine, (2015)
- [4] O.S. Heavens, "the film physics", Methuen publishing Ltd, England, (1970).
- [5] K.L. Chopra, "thin film phenomena", Mc Graw-Hill book Co, New York, (1969).
- [6] J.R. SON, "thin film technologies" 2nd ed, (1986).
- [7] A.S. Jabber, "A study of some physical properties of (CdS) films deposited by locally fabricated D.C. sputtering", university of technology Iraq, thesis M.Sc, (2006).
- [8] T. Minami, S. Ida, T. Miyata, Y. Minomino, thin solid films. 445(2003)268.
- [9] A. Necmeddinyazici, O. Mustafa, ztas-Metin Bed'ir, journal of luminescence 104(2003)115.
- [10] S.H. Jeong, J.W. Lee, S.H. Boo, "Deposition of aluminum doped zinc oxide films by RF magnetron sputtering and study of their structural, electrical and optical properties", Thin solid films, 435(2003)78-82.
- [11] Bashan, M. (1998). "structural and optical characterization of vacuum deposited CdTe thin films" Tr.J.phys.22.929.
- [12] أسيا البواعنة تيلوريد الكاديوم e3arabi.com.
- [13] P. copper (1994), properties of narrow – Gap. Cadmium – based compounds, London, UK: ISBV, IEE, INSPEC 0-85296-880-9.
- [14] ردينه صديق عبد الستار الدليمي "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية للأغشية $Ni_{(1-x)}Zn_xO$ الطريقة المحضرة التحلل الكيميائي الحراري" رسالة ماجستير 2013.
- [15] حنكة مسعودة "تحديد الخصائص البصرية لطبقات الرقيقة لأوكسيد القصدير
- [16] عبيد سعيد S_nO_2 المطعم بالفلور بطريقة المحضرة الرش فوق الصوتي " مذكرة ماستر 2014 جامعة ورقلة .
"دراسة في ثلاث أبعاد للمقادير الكهربائية في جهاز الرش المهبطي المغنطروني باستعمال طريقة الحجم المنتهية" مذكرة ماجستير 2012 جامعة ورقلة .

- [17]<https://uomustansiriyah.edu>1 مقدمة في الاغشية الرقيقة
- [18]palmer,DW(2008),“ properties of II-vI compound semiconductors”
- [19]Bube,R.H (1955)“ temperature dependence of the width of the band gap in several photoconductors”, physical review,98:431-3.
- [20]A .M. ferouani,M .R.Merad . Boudia,k.Rahmoun,Rev.sci,fond.app;vol 3N1,56-65,(2011).

الفصل الثالث:

محاكاة عددية للأداء وكفاءة الخلايا
الشمسية من نوع تيلورايد الكادميوم
(CdTe)

1.III. تمهيد:

ينقسم هذا الفصل إلى ثلاثة أقسام رئيسية القسم الأول و الذي سنركز فيه على المعادلات الأساسية المتعلقة بمحاكاة الخلايا الشمسية ، و نستعرض برنامج المحاكاة المستعمل في هذا العمل و هو برنامج SCAPS حيث سنتعرف على أهم مكوناته طريقة عمله و كذا الخطوات العملية المستخدمة في عملية المحاكاة، اما في الجزء الثاني من هذا الفصل سوف نعرض على الخلية الشمسية المستعملة من نوع CdTe حيث سنستعرض مكوناتها في البرنامج و الثوابت الفيزيائية المستعملة في كل طبقة ، اما في القسم الأخير فسنستعرض فيه إلى تحليل النتائج المتحصل عليها بعد إجراء عملية المحاكاة بواسطة برنامج SCAPS .

2.III. المعادلات الأساسية المستعملة لمحاكاة الخلايا الشمسية

تعتمد المحاكاة العددية للخلايا الشمسية على حل جملة من المعادلات الرياضية المتعلقة بالكمون الكهروستاتيكي و كثافة حاملات الشحنة ، و التي تلخص أهم الظواهر الفيزيائية التي تحدث داخل الخلية الشمسية. هذه المعادلات معرفة بمعادلة بواسون ، معادلة الاستمرارية و معادلة النقل.

1.2.III. معادلة بواسون

و هي أهم معادلة يركز عليها لوصف الظواهر الكهروستاتيكية داخل الخلية الشمسية و تكتب رياضيا في بعد واحد وفق المعادلة التالية [1]:

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

حيث ψ : يمثل الحقل الكهروساكن ، ϵ_0, ϵ_r يمثل كل من السماحية النسبية و في الفراغ على التوالي ، q الشحنة العنصرية ، n, p تمثل كل من كثافة الإلكترونات و الثقوب على التوالي ، N_{D^+}, N_{D^-} تمثل تركيز الأيونات المانحة و المستقبلية ، ρ_i تمثل الفرق بين الشحن من النوع n, p .

2.2.III. معادلة الاستمرارية

تعتبر معادلات الاستمرارية عن حالة كل من الإلكترونات والثقوب إما يتم نقلها ، أو أن تتراكم ، كما يمكن أن تتولد أو تتلاشى وفقا للمعادلات التالية [2]:

• حالة الإلكترونات

$$\frac{1}{q} \nabla j_n(x,t) = R_n(x,t) + \frac{\partial n(x,t)}{\partial t} - G_n(x,t) \quad (2.III)$$

• حالة الثقوب

$$\frac{1}{q} \nabla j_p(x,t) = R_p(x,t) + \frac{\partial p(x,t)}{\partial t} - G_p(x,t) \quad (3.III)$$

حيث : R يمثل معدل الالتحام الكترولون-ثقب، G يمثل التوليد.

3.III. برنامج محاكات الخلايا الشمسية SCAPS

يسمح لنا حل المعادلات الأساسية تحكم سلوك حاملات الشحنة بمعرفة الخواص تيار-جهد للخلية الشمسية بالإضافة إلى غيرها من الوسائط الفيزيائية، النتائج التي يتم الحصول عليها توفر معلومات مفيدة عن أداء الخلية الشمسية. لهذا صعبات كثيرة لحل المعادلات الأساسية بالطريقة التحليلية ، لذا يلجأ الباحثون لحلها بطرق عديدة التي تتطلب عددًا كبيراً من التكرارات ، حيث طور الباحثون عدة برامج لمحاكات الخلايا الشمسية تعطى نتائج دقيقة من أهمها وأكثرها إنتشارا برنامج SCAPS.

برنامج SCAPS هو محاكي SCAPS-1D الذي طوره Marc Burgelman و هو برنامج مصمم ليعمل تحت نظام التشغيل Windows الذي يسمح بنمذجة السلوك الفيزيائي والكهربائي للخلية الشمسية. كما يسمح بتوفير الوقت و التكلفة قبل عملية التصنيع وبالتالي يكون قادراً على تحسين أداء الخلايا الشمسية. يرتكز هذا البرنامج على حل المعادلات التفاضلية الأساسية بطريقة الفروق .

1.3.III. واجهة البرنامج

برنامج SCAPS هو مجاني ، بعد تحميله من المصدر نقوم بتشغيله على نظام التشغيل Windows ، سيظهر على سطح المكتب أيقونة البرنامج كما تضح في الشكل



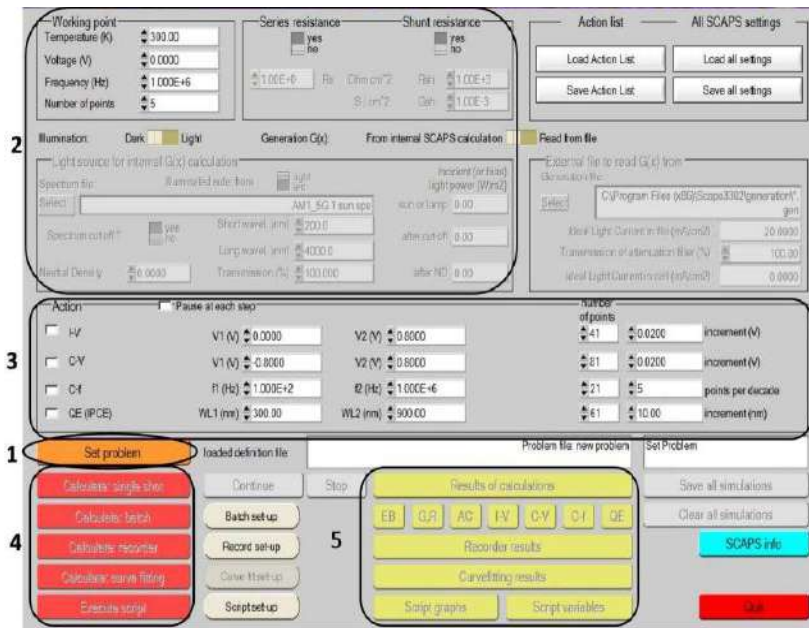
الشكل (1.III): أيقونة برنامج SCAPS

مباشرة نقوم بالنقر فوق الرمز أعلاه على سطح المكتب ، أو انقر نقرًا مزدوجًا فوق الملف **scaps3309.EXE**

من أجل محاكاة أداء و عمل الخلية الشمسية والتحكم فيها باستخدام برنامج **SCAPS** ، يجب أن نمر بثلاث نوافذ أساسية: نافذة التنفيذ (لوحة العمل) ، نافذة تصميم الخلية وتعريف الوسائط (لوحة التعريف) و نافذة النتائج.

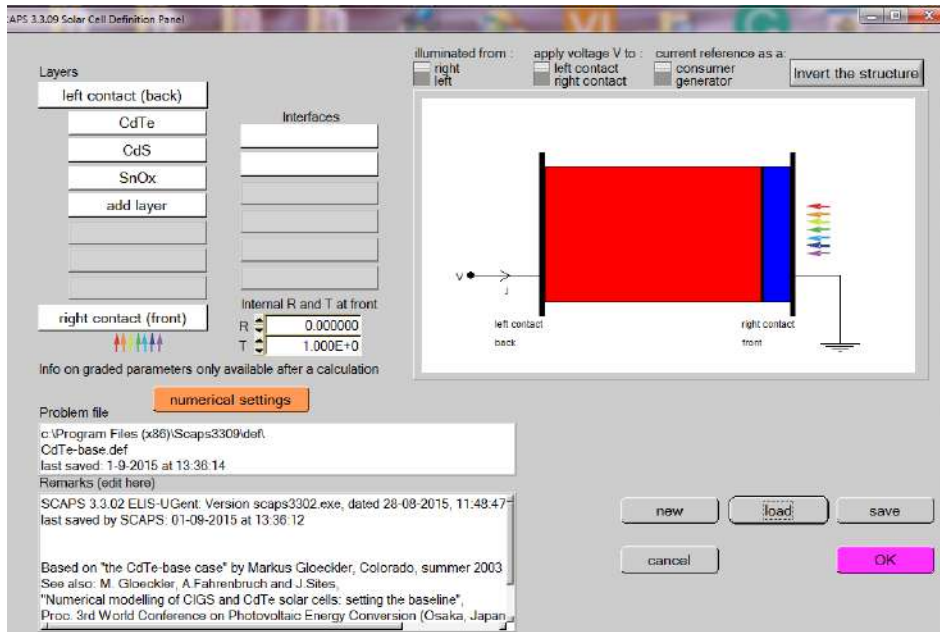
عند فتح برنامج **SCAPS** كما هو موضح في الشكل تظهر نافذة "لوحة العمل" يمكننا من الوصول إلى النافذتين الأخرين ، نافذة تصميم الجهاز و نافذة النتائج ، نافذة العمل تحتوي على 5 أدوات رئيسية يتم توضيح معنى الكتل المسماة من 1 إلى 5 على النحو التالي:

1. تحديد المشكلة وشكل الخلية بالإضافة إلى المواد المستعملة جميع الخصائص الضوئية و الكهربائية للخلية الشمسية المدروسة
2. وضع الظروف التي تجري فيها المحاكاة
3. حدد القياس (المميز) المراد محاكاته
4. بدء العمليات الحسابية
5. عرض منحنيات المحاكاة



الشكل (2.III): الواجهة الأساسية لبرنامج SCAPS

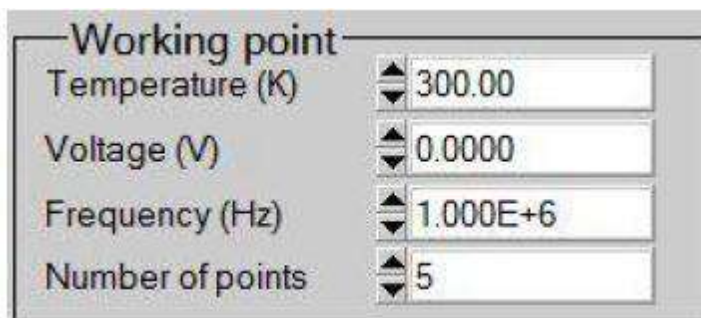
عند النقر على زر تحديد نوع المشكلة (**set problem**) مباشرة سيأخذك البرنامج إلى النافذة الأساسية الثانية المتعلقة بشكل الخلية و عدد الطبقات و الخواص الفيزيائية لكل طبقة كما هو موضح في الشكل أدناه.



الشكل (3.III): نافذة مكونات الخلية الشمسية

تمكننا هذه النافذة من تحديد نوع و مادة كل طبقة التي تكون الخلية الشمسية بالإضافة إلى إدخال كل الخواص الضوئية و الكهربائية لكل طبقة على حدى ، بعد هذه العملية مباشرة نحفظ كل الإعدادات السابقة و ثم نرجع إلى نافذة العمل الأساسية .

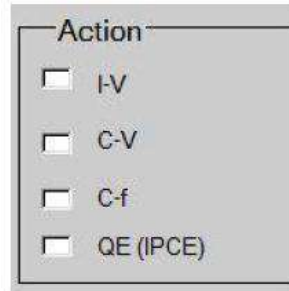
نقوم بعدها بتحديد بعض الوسائط الخارجية المتعلقة بعمل الخلية كتنشيط درجة حرارة الخارجية ، فرق الكمون، التردد ، و عدد النقاط التكرارية المستعملة في الحساب كما يظهر في الشكل.



الشكل (4.III): الوسائط الخارجية لعمل الخلية

نذهب بعدها إلى نافذة تحديد القياس (المميز) المراد محاكاته ، أين نجد الخواص المراد دراستها ،

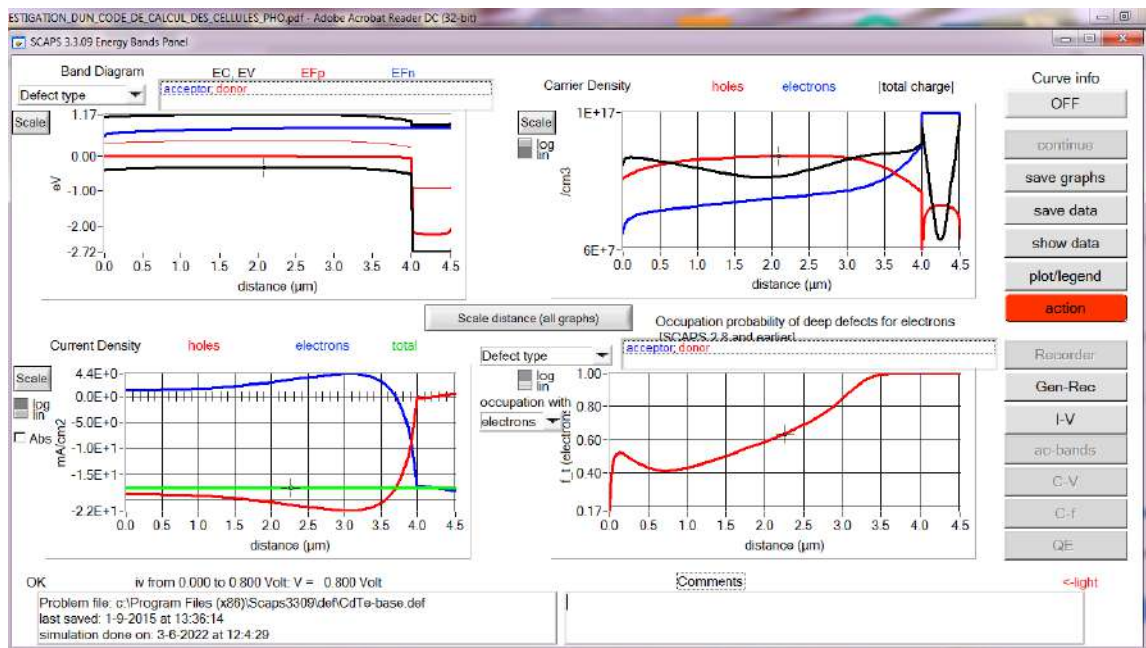
كمنحنى تيار-جهد، جهد-مكثفة، تردد-مكثفة و المرود الكمي، كما يظهر في الشكل (5.III).



الشكل (5.III): مخرجات الخلية الشمسية

بعد الانتهاء من العملية السابقة نضغط على زر الحساب حيث يبدأ البرنامج في العمل و عند الانتهاء

من الحساب تظهر نافذة النتائج ، كما يبينه الشكل (6.III) .

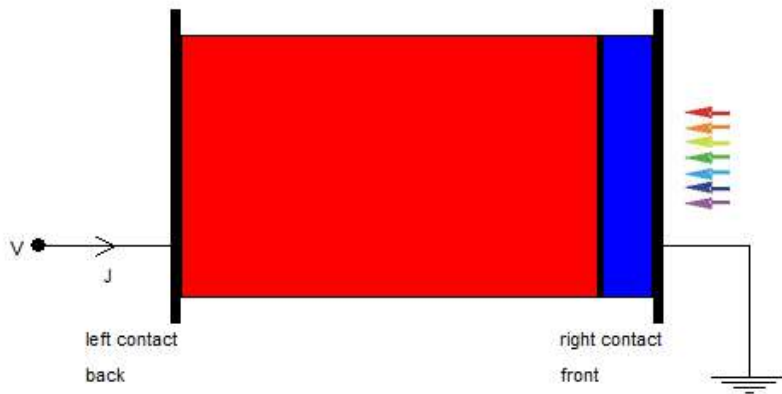


الشكل (6.III): نافذة المنحنيات و النتائج

4.III. تحليل النتائج و مناقشتها:

1.4.III. بنية الخلية الشمسية من النوع CdTe

تتكون الخلية الشمسية المراد دراستها في هذا العمل من خلية تحتوي على ثلاثة طبقات الطبقة الأولى من مادة أكسيد القصدير و هي تمثل الطبقة الشفافة ، الطبقة الثانية من مادة كبريتات الكادميوم و هي تمثل الطبقة من نوع **n** ، أما الطبقة الأخيرة فهي من مادة **CdTe** و هي تمثل الطبقة **p** كما يظهر في الشكل .



الشكل (7.III): بنية الخلية الشمسية من نوع CdTe

2.4.III. تحديد الثوابت و الشروط الأولية لمحاكاة الخلية الشمسية من نوع CdTe

قمنا بتحديد كل الثوابت الفيزيائية المتعلقة بكل طبقة التي تكون الخلية الشمسية وهي موضحة في جدول التالي :

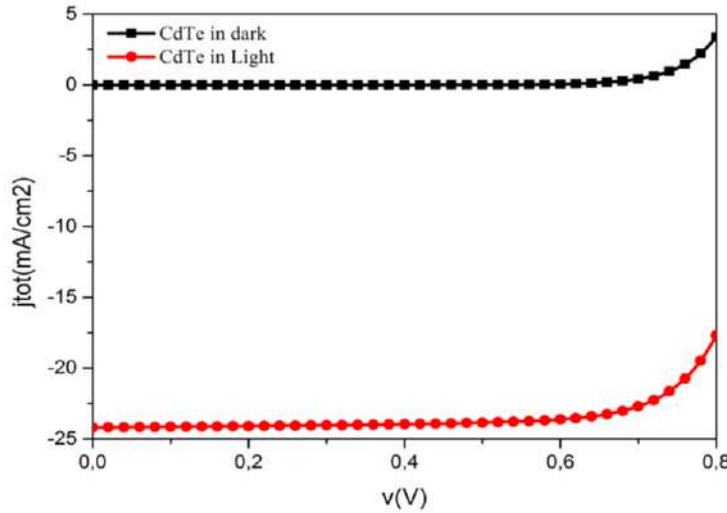
الجدول (1.III) الثوابت الفيزيائية المستعملة لمحاكاة الخلية الشمسية من نوع CdTe

مادة كل طبقة و خصائصها	SnO ₂	CdS	CdTe
e (μ.m)	0.5	0.025	4-6
E_g (eV)	3.6	2.4	1.5
X (eV)	4	4	3.9
ε/ ε₀	9	10	9.4
N_C (cm ⁻³)	2.2 x 10 ⁺¹⁸	2.2 x 10 ⁺¹⁸	8.0 x 10 ⁺¹⁷
N_V (cm ⁻³)	1.8 x 10 ⁺¹⁹	1.8 x 10 ⁺¹⁹	1.8 x 10 ⁺¹⁹
V_e (cm/s)	1.0 x 10 ⁺⁷	1.0 x 10 ⁺⁷	1.0 x 10 ⁺⁷
V_h (cm/s)	1.0 x 10 ⁺⁷	1.0 x 10 ⁺⁷	1.0 x 10 ⁺⁷
μ_e (cm ² /Vs)	1.0 x 10 ⁺²	1.0 x 10 ⁺²	3.2 x 10 ⁺²
μ_h (cm ² /Vs)	2.5 x 10 ⁺¹	2.5 x 10 ⁺¹	4.0 x 10 ⁺¹
N_a/N_d (cm ⁻¹)	0/1.0 x 10 ⁺⁷	0/1.0 x 10 ⁺¹⁸	2.0 x 10 ⁺¹⁴ /0

سندرس في هذا العمل تأثير الأضاءة على الخواص تيار-جهد ، أيضا سنقوم بتغيير سمك الطبقة الممتصة CdTe على مخرجات الخلية المتمثل في جهد الدارة المفتوح ، تيار الدارة القصير ، عامل الملئ ، الكفاءة و المردود الكمي للخلية الشمسية المراد دراستها

3.4.III. تأثير الإضاءة على خواص تيار-جهد للخلية الشمسية من نوع CdTe:

يبين الشكل (8.III) منحنى تغيرات كل من عامل الملئ و الكفاءة لخلية الشمسية من نوع CdTe و هذا بتثبيت سمك الطبقة عند $4\mu\text{m}$ بالاستعانة ببرنامج SCAPS، من خلال المنحنى يظهر أن سلوك الخلية الشمسية سواءا في الضلام أو عند تعريضه للإضاءة يظهر نفس سلوك الوصلة p-n و هذا ما يثبت أن الشبه ناقل من نوع CdTe يصلح استعماله في الخلايا الشمسية. يظهر المنحنى أن هناك إزاحة بين منحنى الخلية و هي في الضلام و حلة الإضاءة هذه الإزاحة تعبر عن التيار الضوئي الناتج عن تعريض الخلية للإضاءة [3].



الشكل (8.III): منحنى تغيرات كثافة التيار بدلالة الجهد لخلية شمسية من نوع CdTe من أجل قيم مختلفة

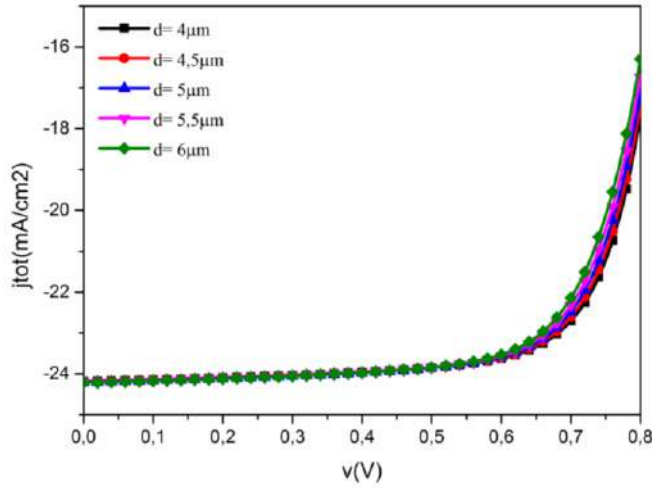
للسمك

4.4.III. تأثير سمك طبقة CdTe على الخواص تيار-جهد :

يوضح الشكل (9.III) منحنى تغيرات كثافة التيار بدلالة الجهد لخلية الشمسية من نوع CdTe و هذا بعد تغيير سمك الطبقة في كل مرة من $4\mu\text{m}$ إلى غاية $6\mu\text{m}$ باستعمال برنامج SCAPS، يظهر المنحنى تغيرات واضحة لكثافة تيار عند تغيير سمك طبقة CdTe حيث نسجل أقصى قيمة كثافة التيار عند السمك $4\mu\text{m}$ كما يظهر في الجدول (2.III). هذه التغيرات لكثافة التيار مرتبطة أساسا بتغير في عرض منطقة النضوب و التي تؤثر بصورة واضحة على ناقلات الشحنة.

الجدول (2.III): نتائج محاكاة الخلية الشمسية من نوع CdTe

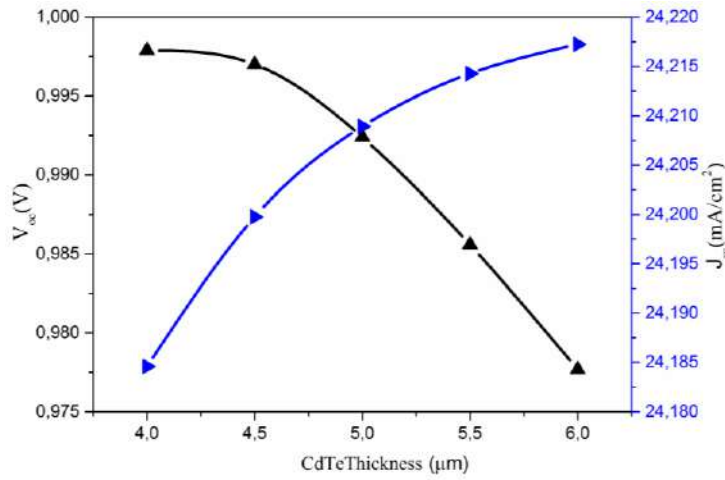
سمك طبقة CdTe	Voc(v)	Isc(mA/cm ²)	FF(%)	η(%)
4.0μm	24,184	0,997	66,4466	16,0358
4.5μm	24,199	0,997	66,0173	15,928
5.0μm	24,208	0,992	65,7694	15,8009
5.5μm	24,214	0,985	65,6195	15,6602
6.0μm	24,217	0,977	65,5086	15,5101



الشكل (9.III): منحنى تغيرات كثافة التيار بدلالة الجهد لخلية شمسية من نوع CdTe من أجل قيم مختلفة للسمك

5.4.III. تأثير سمك طبقة CdTe على جهد الدارة المفتوحة و تيار الدارة القصير:

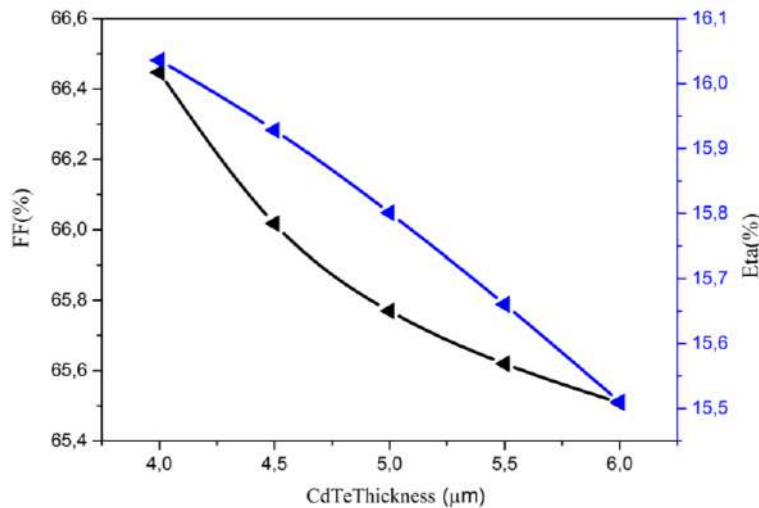
يظهر الشكل (10.III) منحنى تغيرات كل من تيار الدارة القصير وجهد الدارة المفتوحة لخلية الشمسية من نوع CdTe و هذا بعد تغيير سمك الطبقة في كل مرة من 4μm إلى غاية 6μm باستعمال برنامج SCAPS، من المنحى نشاهد أن تغيير سمك طبقة CdTe له تأثير كبير على قيم تيار الدارة القصير وجهد الدارة المفتوحة . حيث أنه بزيادة سمك الطبقة نلاحظ تزايد مستمر لقيم تيار الدارة القصير حيث تبلغ أقصى قيمة له عند 24.21 mA/cm² كما يظهر في الجدول (2.III)، بالمقابل نلاحظ تناقص متزايد في قيم جهد الدارة المفتوحة بزيادة سمك طبقة CdTe ، يمكن تفسير هذه النتائج من خلال حقيقة أن الزيادة في حجم طبقة CdTe ستجعل من الممكن امتصاص المزيد من الفوتونات وبالتالي توليد المزيد من ناقلات الشحنة [4] .



الشكل (10.III): منحنى تغيرات كل من تيار الدارة القصير وجهد الدارة المفتوح لخلية شمسية من نوع CdTe من أجل قيم مختلفة للسلك

6.4.III . تأثير سمك طبقة CdTe على عامل الملىء و الكفاءة

يبين الشكل (11.III) منحنى تغيرات كل من عامل الملىء و الكفاءة لخلية الشمسية من نوع CdTe و هذا بعد تغيير سمك الطبقة في كل مرة من 4µm إلى غاية 6µm باستعمال برنامج SCAPS، من المنحنى نلاحظ أن سمك طبقة CdTe لها تأثير واضح على تغير قيم كل من عامل الملىء و الكفاءة . يظهر المنحنى أنه بزيادة سمك طبقة CdTe تتناقص قيم هاذين العاملين حيث نسجل أعلى قيمة لكل من عامل الملىء و الكفاءة عند السمك 4µm حيث بلغت 66.44 % و 16.03 % على التوالي كما هو مبين في الجدول (2.III).

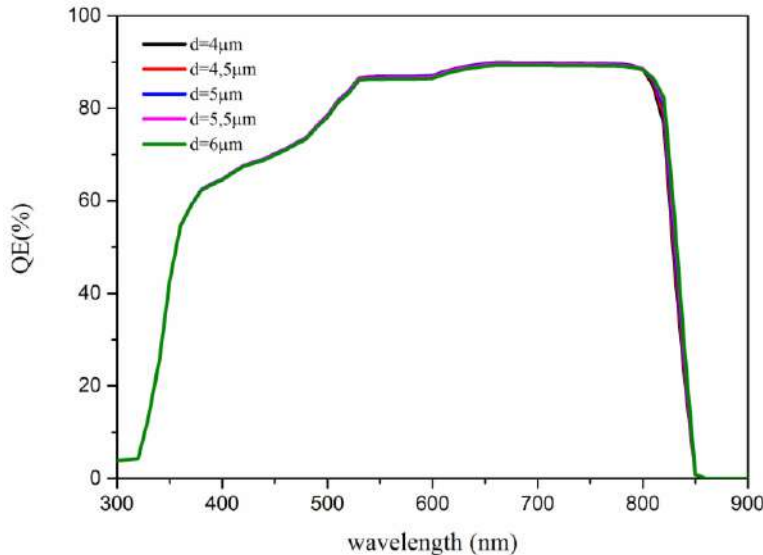


الشكل (11.III): منحنى تغيرات كل من عامل الملىء و الكفاءة لخلية شمسية من نوع CdTe من أجل قيم مختلفة للسلك

7.4.III. المردود الكمي للخلية الشمسية

يعتبر المردود الكمي (QE(%)) من العوامل المهمة في الخلايا و يعرف على أنه عدد أزواج الإلكترون - فجوة المتولدة عن كل فوتون. أو هي النسبة بين كمية الإلكترونات التي تم جمعها وكمية فوتونات الساقطة على الخلية عند كل طول موجي (λ). لذلك ، يتيح لنا هذا المقدار المهم من معرفة سعة الخلية الشمسية و كذا الضياع في التيار الذي حدث داخل الخلية في حد ذاتها .

يوضح الشكل (12.III) منحنى تغيرات المردود الكمي بدلالة الطول الموجي للفوتونات الساقطة على الخلية و المتغير ضمن المجال (300-900 nm) لخلية الشمسية من نوع CdTe و هذا بعد تغيير سمك الطبقة في كل مرة من 4 μ m إلى غاية 6 μ m ، توضح النتائج أن طبقة CdTe تمتص و بشكل جيد كل الطيف فوق بنفسجي و المرئي ، في حين نلاحظ ثبات في قيم المردود الكمي عند الأطوال الموجية المحصورة بين (850-650 nm) . مع العلم أن شكل منحنى المردود الكمي تتحكم فيه عدة عوامل من أهمها الضياع الضوئي داخل الخلية ، وجود العيوب البلورية و التي تؤثر على مرور التيار التوليد، من الملاحظ أيضا ان تغيير سمك طبقة CdTe لا يغير كثير في قيم المردود الكمي للخلية حيث سجلنا اعلى قيمة للمردود عند السمك 4 μ m حيث بلغت 89.85% عند الطول الموجي 660 nm [5].



الشكل (12.III): منحنى تغيرات المردود الكمي كدالة للطول الموجي لخلية شمسية من نوع CdTe من أجل قيم مختلفة للسمك

5.III. الخاتمة:

قمنا في هذا الفصل بإجراء محاكاة عددية لخلية شمسية من نوع CdTe و هذا باستخدام برنامج المحاكاة SCAPS ، حيث ركزنا في هذا العمل على دراسة تأثير الإضاءة على هذه الخلية ، حيث أظهرت النتائج ان الخلية من نوع CdTe أعطت نفس سلوك وصلة p-n ، كما قمنا بدراسة تأثير سمك طبقة CdTe على مخرجات الخلية حيث بينت النتائج أن افضل سمك يمكن إعتباره هو عند 4µm مقارنة مع سمك الحالات الأخرى .

قائمة المراجع

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

[2] 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).

[3] Ben Abderrazak Ghania, Etude par simulation numérique de la Cellule solaire à base de CZTS par SCAPS, Université Med Khider Biskra, (2014).

[4] D.LALAM, Etude et optimisation des cellules solaires en couches minces CdTe/CdS, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, (2016).

[5] A.NOUIR , Z.BOUALLEM, Etude de l'effet de la couche mince CdZnS dans la cellule solaire CZTS, mémoire de magister, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, (2017).

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

تعد الخلايا الشمسية القائمة على الأغشية الرقيقة متعددة الطبقات واعدة للغاية من أجل الحصول على نسب كفاءة / تكلفة أفضل من نظيراتها الأخرى. حيث أحدثت هذه الأخيرة تقدماً كبيراً في مجال الصناعة وخاصة في مجال الإلكترونيات والخلايا الكهروضوئية. من بين خلايا الأغشية الرقيقة، تعد الخلايا الشمسية القائمة على CdTe هي المرشح الواعد لتحويل الطاقة الكهروضوئية بسبب الإمكانيات القوية لتحقيق خلايا شمسية منخفضة التكلفة وعالية الكفاءة وموثوقة ومستقرة. يهدف هذه العمل إلى تحسين زيادة كفاءة الخلايا الشمسية متعددة الطبقات عن طريق إجراء محاكاة عددية باستخدام برنامج محاكاة الخلايا الشمسية أحادي البعد SCAPS-1D، يعد هذا البرنامج أحد أدوات المحاكات الأكثر تطوراً في دراسة الخلايا الشمسية، حيث يستخدمه الباحثون وبشكل متزايد في تطوير و التنبؤ بالنتائج وتحليلها وتفسيرها قبل تجسيدها على أرض الواقع ظراً للتكاليف الباهظة في تصنيعها. ركزنا في هذا العمل على دراسة تأثير الإضاءة على هذه الخلية و أظهرت النتائج ان الخلية من نوع CdTe أعطت نفس سلوك وصلة p-n، كما قمنا بدراسة تأثير سمك طبقة CdTe على مخرجات الخلية حيث بينت النتائج أن سمك الطبقة الممتصة له أثر واضح على عمل الخلية الشمسية، كما سجلنا أفضل النتائج عند السمك عند 4µm مقارنة مع سمك الحالات الأخرى. بينت دراسة المردود الكمي للخلية الشمسية عند تغيير سمك طبقة CdTe أن هذا الأخير لا يتغير كثيراً حيث سجلنا أقصى قيمة للمردود عند السمك 4µm حيث بلغت 89.85% عند الطول الموجي 660 nm.

من خلال ما سبق، تبين أن الخلايا الشمسية من نوع CdTe أعطت نتائج جيدة من ناحية المردود والكفاءة، وتبقى وسائط أخرى يمكن دراستها في المستقبل كتغيير نوع الطبقة الشفافة وكذا الطبقة من النوع n وهذا من أجل تحسين كل من جهد الدارة المفتوح ن تيار الدارة القصير والمردود الكمي للخلية.

الملخص :

قمنا في هذا العمل بإجراء محاكاة عددية لآداء و كفاءة الخلية الشمسية من نوع CdTe بالاستعانة ببرنامح محاكاة الخلايا الشمسية SCAPS-1D . حيث ركزنا على دراسة تأثير كل الإضاءة و سمك الطبقة الماصة CdTe على أداء وكفاءة الخلية الشمسية بما في ذلك الوسائط المتعلقة بمخرجات الخلية الشمسية ككثافة تيار الدائرة القصيرة (J_{sc}) ، جهد الدائرة المفتوحة (V_{oc}) ، معامل الملئ (FF) والكفاءة (η) و المردود الكمي للخلية ، بينت نتائج المحاكاة العددية بواسطة البرنامج ان الخلية من نوع CdTe تسلك نفس سلوك وصلة p-n . ، أوضحت النتائج أن سمك الطبقة الممتصة له تأثير كبير على الوسائط المتعلقة بمخرجات الخلية الشمسية حيث سجلنا أفضل النتائج عند السمك عند $4\mu m$ مقارنة مع سمك الحالات الأخرى بينما كان المردود الكمي للخلية الشمسية عند نفس السمك 89.85% عند الطول الموجي 660 nm .

الكلمات المفتاحية : الخلايا الشمسية ذات الاغشية الرقيقة، الطبقة الماصة CdTe ، محاكاة، SCAPS-1d.

Abstract :

In this work, we achieved a numerical simulation of the performance and efficiency of a CdTe solar cell using the SCAPS-1D solar cell simulation program. Where we focused on studying the effect of all the illumination and thickness of the CdTe absorbent layer on the performance and efficiency of the solar cell and the output of the solar cell such as short circuit current density (J_{sc} , open circuit voltage (V_{oc}), fill factor (FF) and efficiency (η) and The quantitative yield of the cell. The numerical simulation results by the program showed that the CdTe cell behaves the same as the p-n junction, the results showed that the thickness of the absorbing layer has a significant effect on the media related to the output of the solar cell, where we recorded the best results at the thickness at $4\mu m$ compared with the thickness of the cell The other cases, while the quantum yield of the solar cell at the same thickness was 89.85% at wavelength 660 nm .

Key Word : Thin-film solar cells, CdTe absorbent layer, simulated, SCAPS-1d.