

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعية والحياة
قسم علوم المادة



مذكرة ماستر

ميدان علوم المادة
فرع فيزياء
فيزياء المواد

رقم: أدخل رقم تسلسل المذكرة

إعداد الطالب:

بن عيسى نسرين و بن عيشي و داد

يوم: 24/06/2021

تأثير مصائد الثقوب على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية من نوع AlGaAs / GaAs /Si

لجنة المناقشة:

مقرر	أ.محاضر. أ. جامعة محمد خيضر- بسكرة	لعياضي و داد
رئيسا	أستاذ جامعة محمد خيضر- بسكرة	سلطاني محمد توفيق
ممتحنا	أ.مساعد. أ. جامعة محمد خيضر- بسكرة	بوذيبي ليلي

السنة الجامعية: 2022/2021

الإهداء

لدعمنا في الحياة ...

لمن علمنا العطاء دون انتظار ...

لمن نحمل أسمائهم بكل فخر ...

أتمنى من الله أن يطيل عمرهم ليروا الثمار تأتي بعد طول انتظار ...

وستبقى كلماتك نجوما سألشدها اليوم وغدا وإلى الأبد ...

آباؤنا

لمن أعطانا الحب والعاطفة ...

إلى مصدر الرقة وسر الوجود ...

لمن كانت صلاتهم سر نجاحنا ...

أمهاتنا

إلى أستاذتي العزيزة على مجهوداتها المبذولة ولجميع اساتذتي على تعبهم

إلى أخواتي العزيزات على تشجيعهن الدائم ودعمهن المعنوي

إلى إخواني الأعزاء على دعمهم وتشجيعهم

إلى كل عائلتي لدعمهم طوال مسيرتي الجامعية

أن هذا العمل هو إنجاز لنذكرك المزعومة ويهرب من دعمك المعصوم

شكراً لوجودك دائماً هنا من أجلي.

شكراً جزيلاً لصديقاتي الاعزاء على تشجيعهم

لجميع زملائي في الفصل.

شكر وثناء

الحمد لله الذي فضله تتم الصالحات والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى اله وصحبه ومن اهتدى بهديه الى يوم الدين .

نتوجه بالشكر والجزيل الى ذي المنة الامتنان أولا وأخيرا : وهو القائل " : لئن شكرتم لأزيدنكم " والحمد لله الذي وفقنا لهذا البحث وسدد خطانا .

و نتقدم بالشكر الجزيل والعرفان الجميل الى أستاذتنا المشرفة " **لعياضي وداد** " على تفضلها بقبول الإشراف على هذه المذكرة وعلى ما أبداته من رأي سديد وملاحظات وتوجيهات مفيدة بآرك الله في عملها وأنار طريقها الى ما فيه خير وجعله الله في ميزان حسناتها .

كما نتوجه بالشكر الجزيل الى أستاذتنا لجنة المناقشة ،على تفضلهم بقبول مناقشة هذه المذكرة وإعطائنا الملاحظات والتوجيهات السديدة جزاهم الله عنا كل خير .

كما نتقدم بالشكر والتقدير الى كل من غرس فينا بذرة العلم وعلّمونا مكارم الأخلاق والى أستاذة قسم " **علوم المادة** ".

كما لا ننسى شكر كل من قدم لنا يد العون والمساعدة ، كل من دعمنا ودعا لنا.

قائمة الأشكال

- 4..... الشكل (1-I): آليات العمل الأساسية لجهاز الخلية الشمسية
- 5..... الشكل (2.I): مبدأ عمل الخلية الشمسية
- 6..... الشكل (3.I) : مخطط نطاق الطاقة لخلية شمسية N / P عند توازن ديناميكي حراري
7. الشكل (4.I) : مخطط نطاق الطاقة لخلية شمسية N / P تحت الإضاءة (استقطاب أمامي)
- الشكل (5.I) : مخطط نطاق الطاقة لوصلة غير المتجانسة N / P عند التوازن الديناميكي الحراري.....
- 8.....
- 10..... الشكل (6-I): هيكل الخلايا الشمسية Si
- 11..... الشكل (7-I): هيكل الخلايا الشمسية GaAs
- الشكل (8-I): مقارنة بين خلية شمسية أحادية التقاطع مع خلية شمسية مشتركة ثلاثية الوصلات
- 12.....
- 13..... الشكل (9-I): هيكل خلية الوصلة المزدوجة (ترادفي)
- 14..... الشكل (10.I): طيف الإشعاع الشمسي الواصل للكرة الأرضية
- 16..... الشكل (11.I) : خلية شمسية AlGaAs-GaAs مشعة بالإلكترونات
- 18..... الشكل (12 . I) : عيب نقطي (فجوة).
- 18..... الشكل (13. I) : عيب بيني
- الشكل (14 . I) : (أ) عيب إبدالي اقل حجما من العنصر الأصلي (ب) عيب إبدالي أكبر حجما من العنصر الأصلي.....
- 19.....
- 20..... الشكل (15 .I) : عيب فرنكل
- 20..... الشكل (16 .I) : عيب شوتكي
- 21..... الشكل (17.I) : منحنيات نموذجية I-V والطاقة
- 22..... الشكل (18.I): تيار الدائرة القصيرة I_{SC}
- 23..... الشكل (19.I): جهد الدارة المفتوحة V_{oc}
- 24..... الشكل (20.I): معامل التعبئة

- الشكل (1.II): لوحة بدء SCAPS أو الإجراء أو اللوحة الرئيسية.....29
- الشكل (2.II): تحديد المشكلة.....30
- الشكل (3.II): لوحة تصميم الجهاز.....31
- الشكل (4.II): نقطة التشغيل.....32
- الشكل (5.II): لوحة نطاقات الطاقة.....34
- الشكل (6.II): لوحة عرض المنحنيات I-V في الظلام وفي الإضاءة.....35
- الشكل (7.II): خصائص الطبقة المضافة.....36
- الشكل (8.II): خصائص التطعيمات المحددة.....37
- الشكل (9.II): لوحة خصائص الطبقة.....38
- الشكل (10.II): إضافة العيوب.....39
- الشكل (11.II): لوحة خصائص العيب.....40
- الشكل (1.III): بنية الخلية الشمسية المدروسة $\text{AlGaAs} / \text{GaAs}/\text{Si}$ ($n/p+/p+$)
.....(n+ 44
- الشكل (2-III): يوضح تأثير كثافة العيوب على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للخلية الشمسية.....48
- الشكل (3-III): يوضح تأثير كثافة العيوب على كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} للخلية الشمسية.....48
- الشكل (4-III): يوضح تأثير كثافة العيوب على معامل التعبئة FF للخلية الشمسية.....49
- الشكل (5-III): يوضح تأثير كثافة العيوب على المردود التحويلي الطاقوي η للخلية الشمسية.....49
- الشكل (6-III): يوضح تأثير سمك المنطقة X_p على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للخلية الشمسية.....51
- الشكل (7-III): يوضح تأثير سمك المنطقة X_p على كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} للخلية الشمسية.....52

- الشكل (8-III) : يوضح تأثير سمك المنطقة Xp على معامل التعبئة FF للخلية الشمسية.....52
- الشكل (9-III) : يوضح تأثير سمك المنطقة Xp على مردود η للخلية الشمسية.....53
- الشكل (10-III) : يوضح تأثير التطعيم N_A على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للخلية الشمسية.....55
- الشكل (11-III) : يوضح تأثير التطعيم N_A على كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} للخلية الشمسية.....55
- الشكل (12-III) : يوضح تأثير التطعيم N_A على مردود η للخلية الشمسية.....56

قائمة الجداول

- الجدول (1.III): إعدادات المواد التي تم ادراجها في برنامج محاكاة SCAPS 44
- الجدول (2.III): التطعيم والسبك الخاص بالخلية الشمسية المدروسة /GaAs / Si 44
- الجدول (3.III) : خصائص العيوب المستعملة في هذا العمل و المقاسة تجريبيا 45
- الجدول 4-III :الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية قبل تعرض الخلية الشمسية للإشعاع الالكتروني 45
- الجدول (5.III) : الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية القائمة على GaAs 46
- الجدول (6.III) : الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية القائمة على GaAs 46
- الجدول (7.III): تأثير كثافة العيوب N_t على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية / Si 47
- الجدول 8-III : تأثير سمك المنطقة Xp على الخصائص الخلية الشمسية.. / AlGaAs 51
- الجدول 9-III: تأثير التطعيم N_A على سمك المنطقة Xp على الخصائص الخلية الشمسية 54

الاهداء

شكر وثناء

قائمة الأشكال

قائمة الجداول

فهرس المحتويات

I

III

V

1..... مقدمة عامة

الخلايا الشمسية

الفصل الأول

3.....	I. مقدمة
3.....	2. I. تعريف الخلية الشمسية
4.....	3. I. مبدأ عمل الخلية الشمسية
6.....	4. I. أنواعها الخلايا المتجانسة وغير المتجانسة
6.....	1.4. I. الخلية المتجانسة
7.....	2.4. I. الخلية غير المتجانسة
9.....	5. I. الخلايا الشمسية القائمة على Si و GaAs و AlGaAs
9.....	1.5. I. الخلية من نوع Si
11.....	2.5. I. الخلية من نوع GaAs
12.....	6. I. خلايا أحادية الوصلة
12.....	7. I. خلايا ثنائية الوصلة
13.....	8. I. الطيف الشمسي
14.....	9. I. الإشعاعات
14.....	1.9. I. إشعاع الالكترونات
16.....	2.9. I. إشعاع البروتونات
17.....	10. I. العيوب

17.....	1.10.I العيوب النقطية
21.....	11.I الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية
21.....	1.11.I تيار الدارة القصيرة I_{SC}
22.....	2.11.I جهد الدارة المفتوحة V_{oc}
23.....	3.11.I معامل التعبئة FF
24.....	4.11.I مردود التحويل η

مفاهيم عامة حول SCAPS

الفصل الثاني

27.....	1.II مقدمة
27.....	2.II تعريف Scaps
28.....	3.II كيفية استخدام SCAPS
29.....	1.3.II تشغيل Scaps
30.....	2.3.II حدد المشكلة
32.....	3.3.II حدد نقطة العمل
33.....	4.3.II حدد القياس (القياسات) المراد محاكاته
33.....	5.3.II ابدأ الحساب (الحسابات)
33.....	6.3.II عرض المنحنيات التي تم محاكاتها
34.....	7.3.II المنحنيات (I-V)
35.....	8.3.II تعريف الطبقات
37.....	9.3.II هيكل خصائص الطبقات
38.....	10.3.II إضافة العيوب

المناقشة والنتائج

الفصل الثالث

43.....	1.III مقدمة
---------	-------------

43.....	2.III	بنية الخلية الشمسية المدروسة
45.....	3.III	الخلية الشمسية Si / GaAs / AlGaAs قبل تعرضها للاشعاع
47.....	4.III	تأثير كثافة العيوب Nt
50.....	5.III	تأثير سمك المنطقة Xp
53.....	6. III	تأثير التطعيم N_A على سمك المنطقة Xp
56.....	7. III	المقارنة بين الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية (AlGaAs / GaAs / Si)
58.....		الخلاصة العامة
60.....		المراجع
		الملخص

مقدمة عامة

مقدمة عامة

ان استهلاك الطاقة في العالم وفي الوقت الحالي في تزايد مستمر، وذلك بسبب تزايد عدد السكان وحدث 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، أيضاً استهلاكه يعتبر مصدر العديد من المشاكل البيئية مثل التلوث وحدث ظاهرة الاحتباس الحراري [1]. لذلك من المهم جداً تطوير مصادر بديلة جديدة للطاقة يمكنها تلبية الطلب المتزايد، لضمان التنمية المستدامة والحفاظ على البيئة. الطاقة الشمسية هي من أهم المصادر المرشحة لكي تكون مصدر طاقة المستقبل. لأنها مصدر طاقة لا ينضب ونظيف. كما تعتبر مصدر طاقة متزايد يمكن ان يغطي احتياجات الكهرباء العالمية. ونظراً لوفرتها حيث ان كمية الطاقة الشمسية التي تصل الى الأرض في خلال ساعة تعادل الطاقة الكلية التي يحتاجها النوع البشري خلال سنة [2] في الواقع، يمكن تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء من خلال المركبات التي تسمى الخلايا الشمسية. الخلايا الشمسية الكهروضوئية (PV) تملك العديد من المزايا، لأنها غير ملوثة للبيئة. توليد الطاقة الكهروضوئية في تزايد مستمر منذ العقود الماضية والى يومنا هذا. مع مراعاة خفض تكاليف التصنيع والزيادة في كفاءة التحويل. من اجل هذا يبذل الباحثون جهوداً كبيرة من اجل التمكن في مجال تكنولوجيا ترسب الطبقات الرقيقة [1].

الخلايا الشمسية عبارة عن أجهزة شبه موصلة تنقل الضوء إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام. تمت دراسة هذه الأجهزة في البداية في عام 1839 من قبل أنطوان سيزار بيكريل الذي لاحظ أنه في حالة تسليط الضوء على الثنائيات فإنه يولد تياراً كهربائياً. ومع ذلك، لم يتم إنشاء خلية شمسية فعالة نسبياً تولد قدرًا معقولاً من الطاقة حتى عام 1954، عندما طور شابين وفولر وبيرسون خلية شمسية قائمة على السيليكون لمختبرات بيل (مختبرات بيل). منذ إنشاء أول خلية شمسية فعالة من حيث التكلفة، ازداد البحث في التكنولوجيا وتحسين كفاءة الخلايا الشمسية بسرعة. كما يجدر بنا الذكر ان التركيز الأخير على استخدام الطاقات المتجددة سيكون في الفضاء الخارجي و وضع هذا هذا النوع من البحوث في المقدمة [3].

الهدف من عملنا هو دراسة خلية شمسية تعتمد على $AlGaAs / GaAs / Si$ من نوع pn، عن طريق المحاكاة العددية باستخدام البرنامج SCAPS. وبالتالي فإن الخلية المدروسة في هذا العمل مخصصة بشكل عام للتطبيقات الفضائية والتي تكون بطبيعة الحال معرضة لطيف الشمسي خارج

الغلاف الجوي (AM0). تتم دراسة الخصائص الكهربائية للخلية حيث المعلمات الخارجية مثل الخاصية كثافة جهد (J-V) ، تيار الدائرة القصيرة (Jsc) ، جهد الدائرة المفتوحة (Voc) معامل التعبئة (FF) وكذا مردود الخلية (η). في الفصل الأول سوف نقدم مفاهيم عامة حول الخلايا الشمسية ، تعريف الخلية الشمسية وشرح مبدا عملها ، إضافة الى ذلك ذكر بعض انواعها ومن ثم تسليط الضوء على الخلايا الشمسية المتجانسة وغير المتجانسة وفي الاخير شرح مبسط للخلايا الشمسية ذات الوصلة الواحدة وكذا المتعددة الوصلات. في الفصل الثاني سنقدم برنامج SCAPS المستخدم لمحاكاة الخلية الشمسية مخصص لوصف وتطبيق برنامج محاكاة وصفاً مفصلاً بدءاً بتعريف SCAPS ثم كيفية استخدامه وكذا كيفية ادراج الخصائص والاعدادات الخاصة بالخلية الشمسية إضافة الى ذلك سوف نعرض كيفية ادراج العيوبوفي الاخير سوف نبرز كيفية قراءة واستخراج النتائج وكذا كيفية رسمها . وأخيراً سوف نعرض في الفصل الثالث دراسة خلية شمسية تعتمد على AlGaAs / GaAs / Si من نوع pn الخلية بواسطة SCAPS والتي ستكون معرضة للاشعاع الشمسي AM0 والموجهة للاستخدام الفضائي من اجل تحديد خصائصها الكهربائية ، اذ سندرس تأثير مصائد الثقوب التي ينشؤها اشعاع الالكترونات كما سندرس ايضاً تأثير السمك و التطعيم على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية من نوع والمعرضة للاشعاع الالكتروني . كما سيتم مناقشة وتفسير النتائج المتحصل عليها في هذا العمل. وأخيراً نختم العمل بمقارنة لجميع النتائج التي تم الحصول عليها.

الفصل الأول

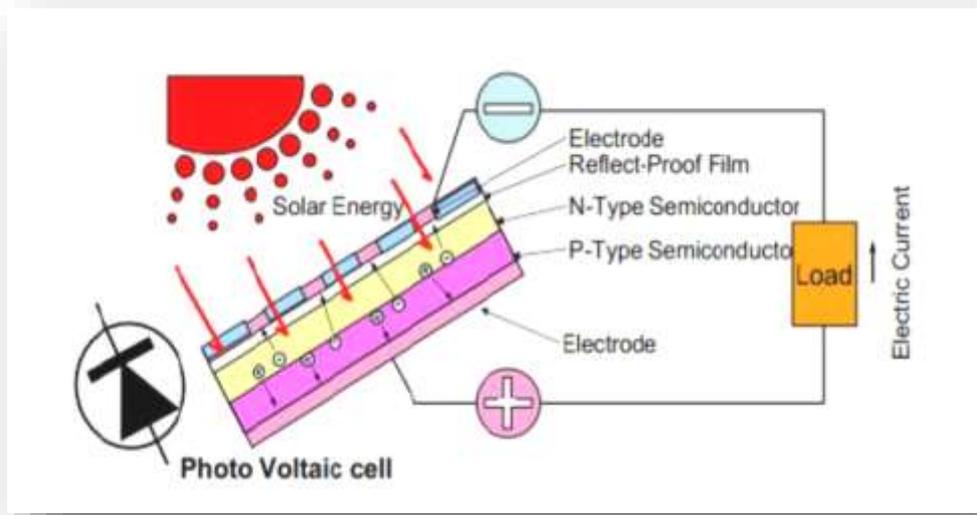
الخلايا الشمسية

1.1. مقدمة :

استخدمت الخلايا الشمسية منذ عشرات السنين، حيث تم استخدامها في الأقمار الصناعية منذ عام 1996م، الخلايا الشمسية أو الكهروضوئية أو الخلايا الضوئية هي عبارة عن جهاز وأداة على شكل خلايا مرصوفة بجانب بعضها البعض تقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية من خلال استغلال التأثير الضوئي الجهدي، في البداية تقوم الخلايا الشمسية والتي توضع بشكل مباشر تحت أشعة الشمس بامتصاص هذه الأشعة وتحوّل هذه الأشعة لطاقة كهربائية يستفيد منها الإنسان في العديد من الأغراض والمجالات، وبذلك تعمل أشعة الشمس كبديل لما تقوم به المولدات الكهربائية المعنادة، 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 المصنوفة بجانب بعضها البعض، وهذه الخلايا الشمسية تتألف من مواد شبه موصلة (غالباً سيليكون). في هذا الفصل سنتطرق إلى نبذة عامة حول الخلايا الشمسية سنحاول إبراز مبادئ عملها وكذا أنواعها وبعض خصائصها.

2. I تعريف الخلية الشمسية :

الخلايا الشمسية هي الأجهزة التي تحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى كهرباء عن طريق التأثير الكهروضوئي [4]. يتطلب تحويل الضوء الشمسي إلى طاقة كهربائية توليد الشحنات السالبة والموجبة بالإضافة إلى قوة ملحة لدفع هذه الشحنات عبر دائرة كهربائية خارجية لتجميع الشحنات. يمكن توصيل الدائرة الخارجية لاحقاً بأي جهاز كهربائي للاستفادة من الطاقة الكهربائية المتولدة. في الواقع، يجب أن يمتلك الفوتون الذي يصطدم بالإلكترون في الخلية الشمسية طاقة كافية لإثارة إلكترون التكافؤ للقفز إلى نطاق التوصيل. تحدد فجوة الطاقة بين نطاق التوصيل وشريط الستارة مع الطاقة المقدمة إلى إلكترون التكافؤ بواسطة الفوتون احتمالية وجود إلكترون في مسار التوصيل ويكون مفيداً لتوليد الطاقة. يتم تحديد الحد الأقصى للتيار من خلال عدة الإلكترونات المتحمسة للقفز إلى نطاق التوصيل في الثانية انظر الشكل (1-1) [5].



الشكل (1-I): آليات العمل الأساسية لجهاز الخلية الشمسية [6].

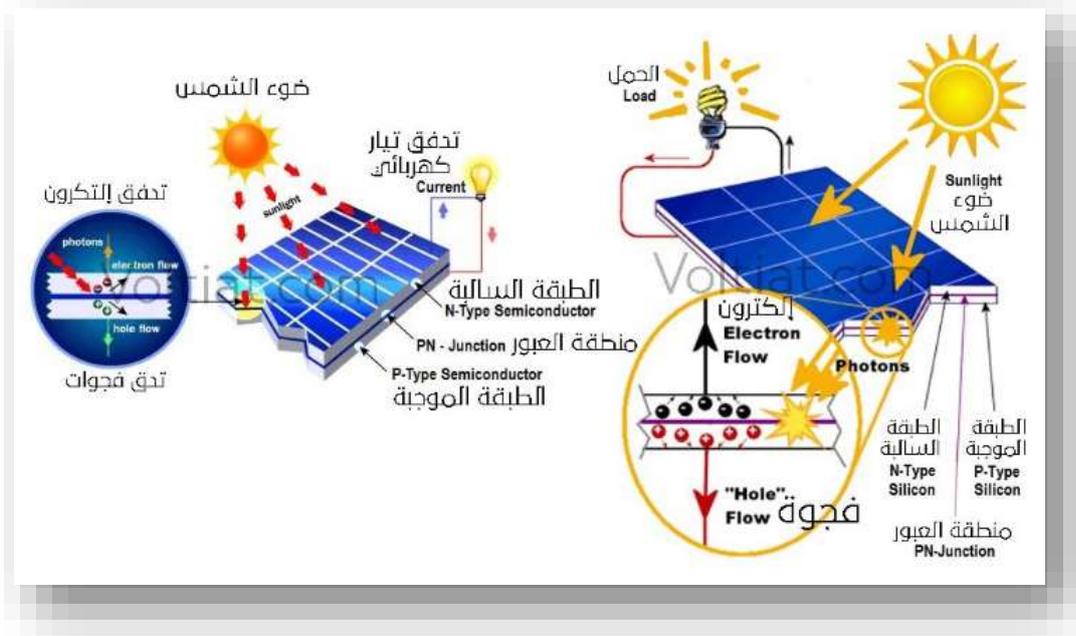
3.I . مبدأ عمل الخلية الشمسية :

الخلية الشمسية هي صمام ثنائي ضوئي لوصلة PN ذات مساحة كبيرة، والتي تولد إشارة ضوئية دون مساعدة مصدر طاقي إضافي . عندما تسقط الفوتونات الضوئية على الخلية فإن جزء منها ينعكس والآخر يمتص ، الفوتونات الممتصة تشارك في الفعل الكهروضوئي ، التحويل الكهروضوئي يرتبط بحدوث ثلاثة ظواهر فيزيائية وهي [7] :

- 1- امتصاص الفوتونات الساقطة على الخلايا الكهروضوئية (في حالة ما إذا كانت طاقة الفوتون الوارد أكبر من طاقة فجوة) (énergie de gap) للطبقة الماصة.
- 2- تحويل طاقة الفوتون إلى طاقة كهربائية بإنشاء الأزواج (إلكترون-ثقب) في أشباه الموصلات.

3- جمع الإلكترونات المتحررة في الخلية.

من الواضح ان المواد المكونة للخلية الشمسية يجب ان تمتلك خصائص ضوئية وكهربائية تأهلها لهذا التحويل الكهروضوئي . ان الحقل الكهربائي الناشئ في الوصلة PN يؤدي الى تفريق الأزواج المولدة (ثقب-إلكترون)، الإلكترونات في جهة والثقب في جهة أخرى كما يوضحه الشكل (1):



الشكل (2.1): مبدأ عمل الخلية الشمسية. [8]

تقاطع pn هو العنصر الرئيسي للجهاز الكهروضوئي. يتكون من طبقة مطعمة من النوع n من المواد الفعالة (أي وجود فائض من الإلكترونات) وطبقة مطعمة من النوع P (أي وجود فائض من الثقوب). عن طريق القياس مع الإلكترونات الدقيقة ، غالبًا ما تسمى المنطقة n بالباعث ، بينما تسمى المنطقة p القاعدة. يؤدي ملامسة هاتين الطبقتين إلى ظهور تيار انتشار بسبب الاختلاف بين مستويات فيرمي للطبقتين المطعمتين العكسيتين. وبالتالي ، فإن ناقلات الأغلبية (الإلكترونات في المنطقة n ، والثقوب في المنطقة p) سوف تهاجر نحو المنطقة التي تكون فيها الأقلية (المنطقة p للإلكترونات ، والمنطقة n للثقوب) وتعيد توحيدها. على جانبي واجهة pn ، وتتشكل تدريجيًا منطقة تسمى "منطقة شحن الفضاء ZCE()" أو منطقة النضوب في تقاطع السيليكون pn ، على سبيل المثال ، يبلغ طول ZCE بضع مئات من النانومترات ويمتد إلى عمق المنطقة من النوع p. ضمن ZCE ، تساهم الشحنات الثابتة في إنشاء مجال كهربائي يعارض انتشار الموجات الحاملة. يتم الوصول إلى التوازن الديناميكي الحراري عند القوة الكهربائية تعوض القوة الدافعة للانتشار. في الوقت نفسه ، تتساوى مستويات Fermi للطبقتين مما يؤدي إلى انحناء العصابات في الواجهة. عندما يتم وضع التقاطع تحت الإضاءة ، هناك مساهمتان في التيار الضوئي العالمي. التيار

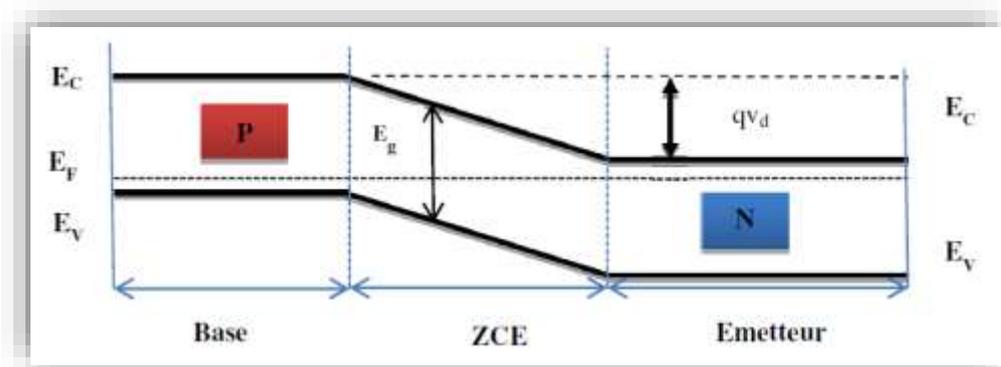
الضوئي المتشئت الذي يأتي من الاكسيتونات التي يتم إنشاؤها خارج ZCE ، وتوليد التيار الضوئي الذي يشير إلى التيار الناجم عن مجموعة الحاملات المتولدة داخل ZCE.

4.I أنواعها الخلايا المتجانسة وغير المتجانسة :

1.4.I الخلية المتجانسة :

الخلية الشمسية المتجانسة هو الهيكل الأكثر استخدامًا. وهي تتكون أساسًا من تجاور منطقتين ، المطعمتين بشكل مختلف ، من نفس أشباه الموصلات البلورية المفردة [9]. تحت تأثير الانحدار الحاد في تركيز الشوائب ، ستنتشر الإلكترونات (الناقل الأكبر للمنطقة N) من المنطقة N إلى المنطقة P حيث تكون في الأقلية. هو نفسه بالنسبة للثقوب التي تنتشر من المنطقة P إلى المنطقة N. يتم الوصول إلى التوازن الديناميكي الحراري في منطقة شحن الفضاء (ZCE) عندما تعوض مكونات تيار التوصيل المرتبطة بالمجال الكهربائي تمامًا عن مكونات الانتشار تيار. خارج منطقة شحن الفضاء ، يكون المجال الكهربائي صفرًا ومستوى فيرمي محاذي. يظهر مخطط نطاق الطاقة لتقاطع N / P عند التوازن الديناميكي الحراري في الشكل (1). يؤدي تباين الطاقة الكهروستاتيكية في تقاطع N / P إلى إنشاء حاجز محتمل. ارتفاع هذا الحاجز ، ويسمى أيضًا جهد الانتشار V_d . ويحسب بالصيغة التالية [10,9]:

$$V_d = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) \quad (1.I)$$



الشكل (3.I): مخطط نطاق الطاقة لخلية شمسية N / P عند توازن ديناميكي حراري [10].

عندما يتم إرسال فوتون h ، أكبر من طاقة فجوة الحزمة من الضوء أحادي اللون ، إلى الوجه الأمامي لمادة أشباه الموصلات ، سيتم إنشاء أزواج ثقب إلكترون. يُعطى معدل توليد أزواج ثقب إلكترون $G(z, \lambda)$ ، على مسافة z من السطح بالعلاقة (2.I):

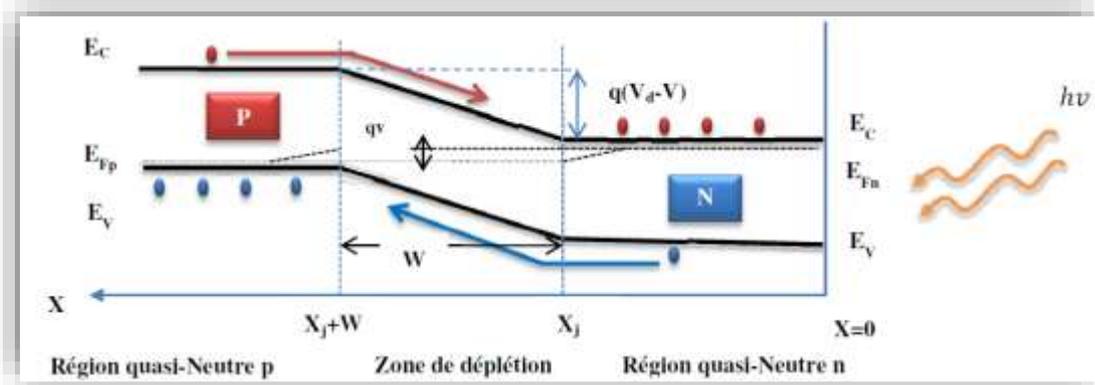
$$G(z, \lambda) = \alpha(\lambda)F(\lambda)[1 - R(\lambda)]\exp(-\alpha(\lambda)z) \quad (2.I)$$

حيث:

$\alpha(\lambda)$: هو معامل الامتصاص للمادة،

$F(\lambda)$: التدفق الطيفي للفوتونات الساقطة.

$R(\lambda)$: هو معامل الانعكاس على سطح المادة.



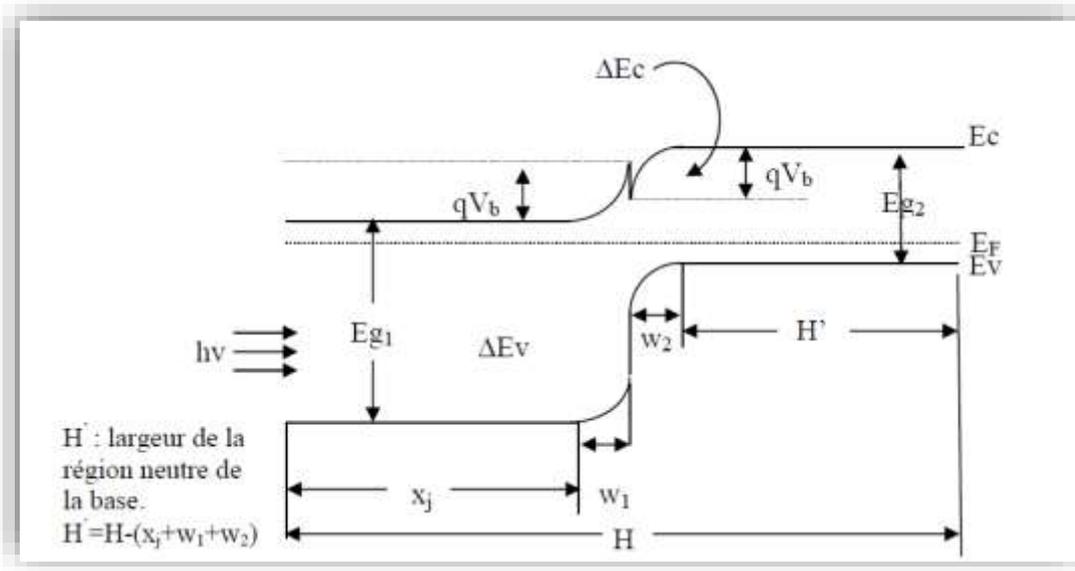
الشكل (4.I): مخطط نطاق الطاقة لخلية شمسية N / P تحت الإضاءة (استقطاب أمامي) [10].

2.4.I. الخلية غير المتجانسة :

الوصلة غير المتجانسة هي تقاطع بين مادتين مختلفتين. إذا كانت كلتا المادتين من أشباه الموصلات ، فهي عبارة عن مادة غير متجانسة لأشباه الموصلات. في هذه الحالة ، يكمن الاختلاف عادةً في بنية النطاقات. يعطي الشكل (5.I) مخطط نطاق الطاقة لوصلات غير متجانسة N / P عند التوازن الديناميكي الحراري [11]. عندما يتلامس أشباه الموصلات ، تنتشر الناقلات من منطقة إلى أخرى من التقاطع ، بنفس طريقة التقاطع المتجانس. في حالة التوازن الديناميكي الحراري ، يكون

مستوى فيرمي فريداً في جميع أنحاء الخلية. الفوتونات لديها طاقة أقل من E_{g1} وأكبر من E_{g2} تمر عبر أشباه الموصلات الأولى وتمتصها الثانية. تؤدي الوصلات غير المتجانسة أداء أفضل من الوصلات المتجانسة [12]:

- استجابة طيفية أفضل واستغلال الحد الأقصى للطاقة الشمسية.
- تحسين امتصاص الفوتونات إذا كان أول شبه موصل سميك (الامتصاص في كل من أشباه الموصلات).
- جهد دائرة مفتوحة مرتفع إلى حد ما.



الشكل (5.1): مخطط نطاق الطاقة لوصلة غير المتجانسة N / P عند التوازن الديناميكي الحراري [13].

تتمثل المشكلة الأساسية في دراسة الوصلات غير المتجانسة في تحديد الحاجز المحتمل الموجود في الواجهات المختلفة. يعمل هذا الحاجز على ضبط مرور الإلكترونات أو الثقوب من مادة إلى أخرى. بشكل عام، يمكن تحديد انقطاعات النطاق في أحد تعبيرات عدم الاستمرارية لنطاق التوصيل أو نطاق التكافؤ. بشكل عام، يعد انقطاع نطاق التوصيل هو الأكثر إثارة للاهتمام. القاعدة الأكثر اعتماداً من قبل الباحثين والعلماء لحساب هذا الانقطاع هي قاعدة تقارب الإلكترونات أو نموذج أندرسون [9]. إنه يفرض أن انقطاع نطاقات التوصيل، عند تقاطع غير متجانس مفاجئ، يساوي ببساطة الاختلاف في التقاربات الإلكترونية بين أشباه الموصلات:

$$\Delta E_c = E_{c2} - E_{c1} = \chi_1 - \chi_2 \quad (3.I)$$

$$\Delta EV = \Delta \chi + \Delta E_g \quad (4.I)$$

حيث :

χ_1 و χ_2 عبارة عن ارتباطات إلكترونية بين أشباه الموصلات.

I. 5. الخلايا الشمسية القائمة على Si و GaAs و AlGaAs :

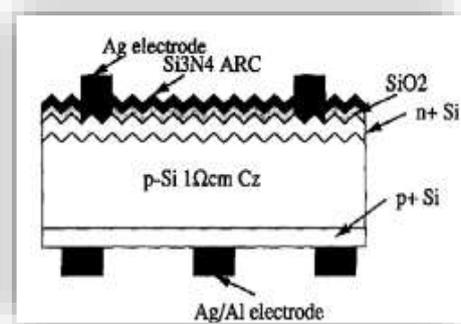
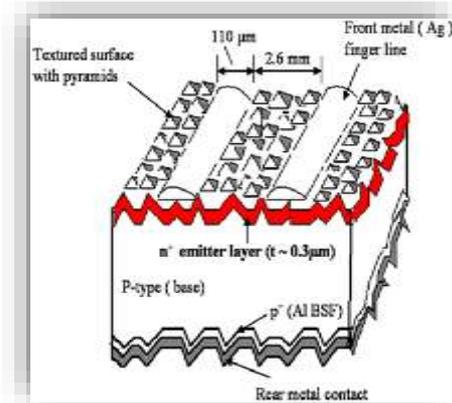
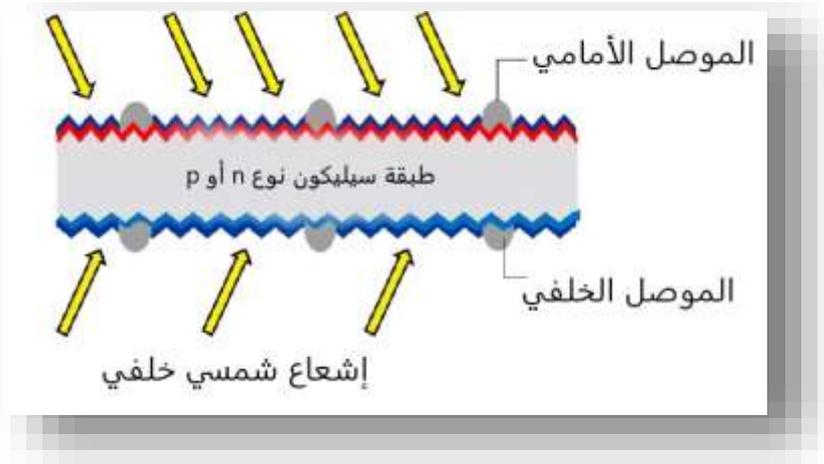
I.1.5.1. الخلية من نوع Si :

تُصنَّع خلايا السيليكون الشمسية متعددة البلورات من سبائك سيليكونية مُربَّعة الشكل، وتتم عملية تصنيعها من خلال تبريد السيليكون المصهور وصبّه في كتل مُقسّمة إلى ألواح رفيعة، وينتج عن تصلبها خلايا تحتوي على العديد من البلورات، ومن الجدير بالذكر أنّ سطح هذه الخلايا يكون أقلّ فعاليةً في امتصاص أشعة الشمس مقارنةً بـ سطح الخلايا السيليكونية أحادية البلورة، وبالتالي فإنّها تُنتج كميةً أقلّ من الطاقة الكهربائية، ولتعويض ذلك يكون حجمها أكبر من الخلايا الأخرى، ممّا يعني حاجتها لمساحة أكبر، لكنّ ذلك لا يُلغي أنّ عملية تصنيعها أسهل وسعرها أقلّ.

هناك عدة أنواع من الخلايا الشمسية القائمة على Si ، ومن هذه الأنواع البنية $p^+ p^- n^+$ مع مقطع 243.4 cm^2 ، تم الحصول على كفاءة قصوى قدرها 17.12% [14]. يجب ان تكون ملامسات الخلية الشمسية أومية [15] . على جهاز الإرسال ، يتم وضع جهات الاتصال في شكل شبكة يجب ان تضمن هذه الهندسة مقاومة منخفضة للسلسلة مع الحد من تظليل الخلية [16] . لتحقيق التلامس الأومي ، تكون المنطقة الواقعة تحت التلامس الأمامي n^+ مطعم ، ويطلق عليها الباعث الانتقالي [16]. يغطي التلامس الخلفي السطح الخلفي للخلية الشمسية بالكامل. يتميز بمعدل إعادة تركيب سطحي مرتفع للغاية. يتكون حقل السطح الخلفي BSF (الشكل I-6) من إنشاء حاجز محتمل (على سبيل المثال) ، تقاطع $p^- - p^+$ أو $n^- - n^+$ على الوجه الخلفي.

الخطوات التكنولوجية الرئيسية في عملية إنتاج خلية شمسية تقليدية من السليكون هي كما يلي [17]:

- معالجة سطح الرقاقة والتركيب.
- تشكيل تقاطع n^+p أو بنية n^+p-p^+ .
- المعدنة: إيداع شبكة التجميع والتلامس الخلفي.
- ترسب الطبقة المضادة للانعكاس (أكسيد السليكون، نتريد السليكون، الخ). بشكل عام، التقنية المستخدمة لهذا الإيداع هي PECVD، البلازما الكيميائية المدعمة بالبخار، والتي تحدث في درجات حرارة منخفضة نسبياً [18].



الشكل (6-I): هيكل الخلايا الشمسية Si.

2.5.I. الخلية من نوع GaAs:

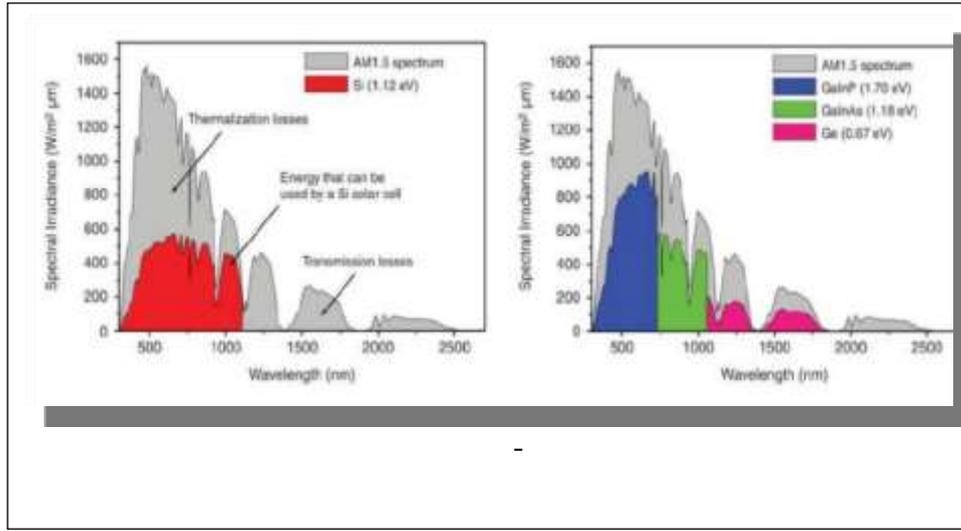
تُعد مادة زرنيخيد الغاليوم من المواد شبه الموصلة المشهورة في عالم الخلايا الشمسية، حيث يُمكن لكفاءتها أن تصل حتى 30%، إذ تمتاز بخصائص كهربائية جيدة، بالإضافة إلى مقاومتها للحرارة. الخلايا الشمسية من نوع (III - V) وأكثرها انتشاراً واستخداماً هو زرنيخ الغاليوم GaAs إن بنية هذا المركب مشابهة لبنية السيلكون ولكن ذرات الزرنيخ والغاليوم هي أثقل من ذرات السيلكون ويكون معامل الامتصاص للضوء لخلية مكونة من نصف ناقل من الزرنيخ والغاليوم أكبر من معامل الامتصاص لخلية من السيلكون. تم تطوير أول خلية شمسية عالية الكفاءة لأول مرة بواسطة Woodall and Hoel باستخدام AlGaAs/GaAs بنية غير متجانسة تم الحصول عليها بواسطة epitaxy الطور السائل [19]. كان العائد القياسي تحت AM1(22%) [19]. أدى تطوير تقنية نمو MOCVD والفهم الأفضل لأسباب الخسائر إلى تحسينات مستقرة في المردود وصلت إلى 25% تحت AM1 و 29% لأشعة الشمس المركزة يظهر في الشكل مثال على البنية الأساسية GaAs التي تم تطويرها على مدى عدة سنوات في مختبرات مختلفة [20].



الشكل (7-I): هيكل الخلايا الشمسية GaAs

6.I. خلايا أحادية الوصلة:

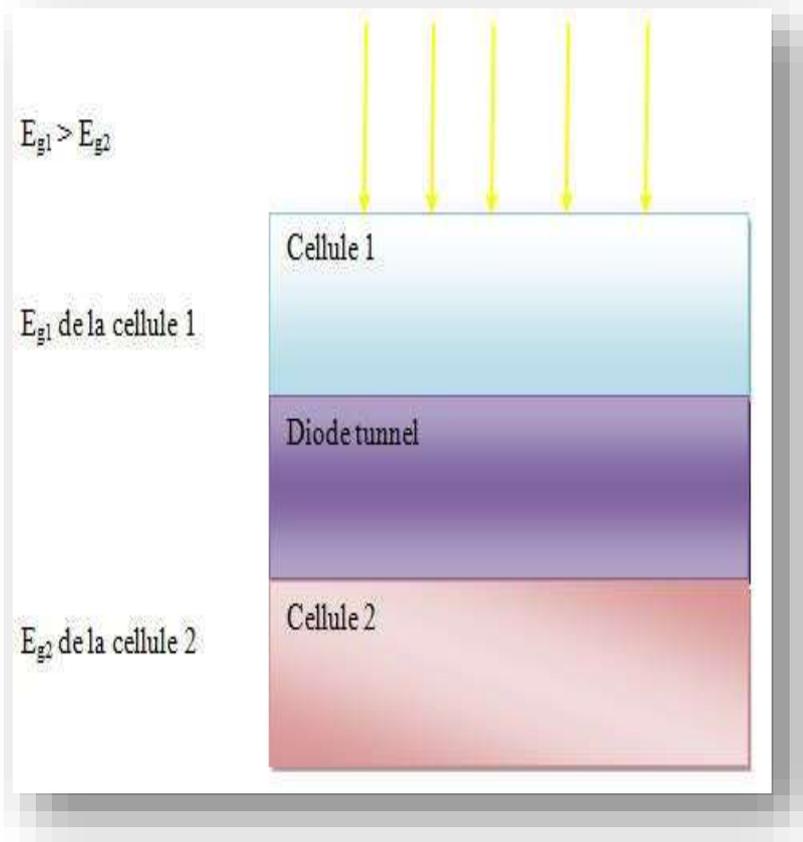
للخلية الشمسية أحادية الوصلة pn نطاق محدود فقط لكفاءة التحويل حيث تتحرك الإلكترونات خارج نطاق التوصيل مباشرةً ويكون فقدان الحرارة الشبكي محدوداً. يتمثل الحل لهذا التحدي في الكفاءة في استخدام تقاطعات p-n متعددة مكدسة فوق بعضها البعض بقيم فجوة نطاق مختلفة بحيث تكون معاً قادرة على امتصاص نطاق أوسع من الطيف الشمسي. يشار إلى هذه الفكرة باسم الخلايا الشمسية متعددة الوصلات [21]. يمكن رؤية مثال على زيادة الامتصاص في الشكل (9-I).



الشكل (8-I): مقارنة بين خلية شمسية أحادية التقاطع مع خلية شمسية مشتركة ثلاثية الوصلات [22].

7.I. خلايا ثنائية الوصلة:

لا تستطيع الخلايا الشمسية أحادية الوصلة تسخير الطيف الشمسي بشكل صحيح ، فالطيف الشمسي واسع جداً ، ومثل العديد من المواد الشمسية ذات الامتصاص المنخفض في اللونين الأزرق والأشعة تحت الحمراء ؛ يجب تكديس عدة خلايا بترتيب تنازلي للفجوة. تتسع الاستجابة الطيفية في الترددات على طول الطيف من الأشعة تحت الحمراء إلى اللون الأزرق وحتى الأرجواني. يصل جهد الدائرة المفتوحة V_{CO} من الترددات الشمسية إلى قيم محسنة للغاية. بشكل عام ، يتم تسجيل الهياكل الترددية بواسطة MBE و OMVPE و CBE [23].

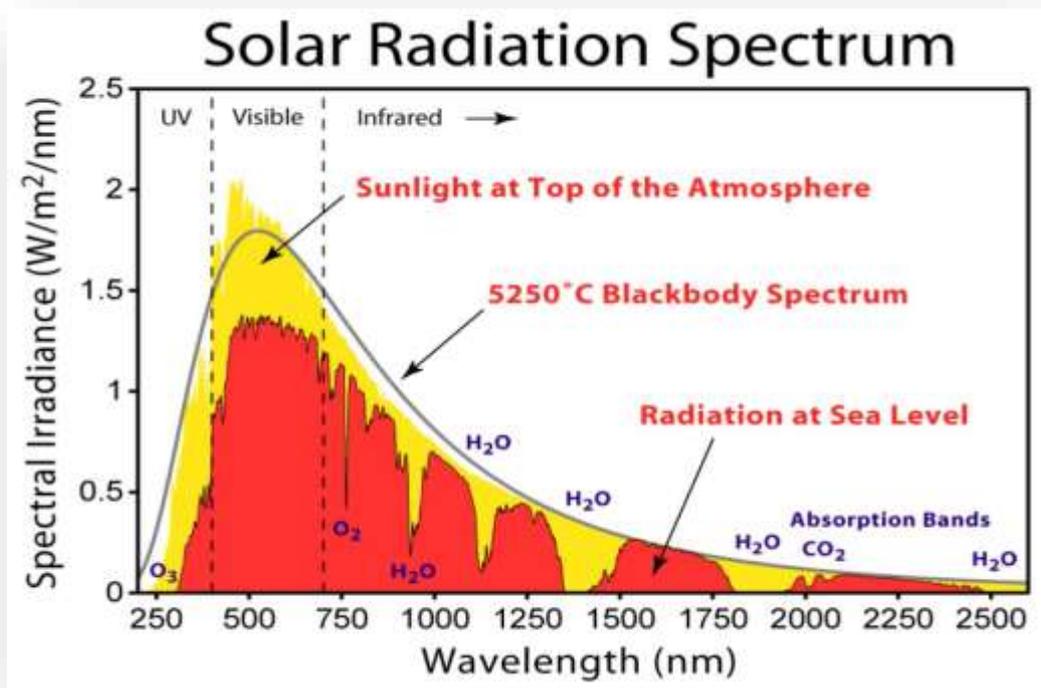


الشكل (I-9): هيكل خلية الوصلة المزدوجة (ترادفي) [23].

8.I. الطيف الشمسي :

يمكن ان نقسم الطيف الشمسي الى ثلاثة أقسام هي:

- الموجات الحرارية: وهي أشعة غير مرئية بالنسبة للطيف الكهرومغناطيسي وتنسب الى مجموعة الموجات ذات المدى الطويل وتعرف بالأشعة تحت الحمراء وتقدر نسبتها نحو (49%) من مجموعة الإشعاع الشمسي [32]. وجزئها الأكبر لهذه الأشعة يسهم في رفع درجة الحرارة الغلاف الجوي وسطح الأرض وهي بذلك يكون لها اثر كبير في الدراسات المناخية ' ويسهم في بخار الماء في امتصاص قسم كبير منها عند أطوال موجية معينة في الشكل (1.1).



الشكل (10.I): طيف الإشعاع الشمسي الواصل للكرة الأرضية [32].

- **الضوء المرئي:** وهي أشعة مرئية تقدر نسبتها بنحو (43%) من مجموع الإشعاع الشمسي ، ويكون من ضمنها الأشعة تحت الحمراء والزرقاء وتعتمد النباتات على هذه الأشعة في عملية التركيب الضوئي [33].
 - **الأشعة فوق البنفسجية:** وتضم نحو (7%) من مجموع أشعة الشمس وتكون هذه الأشعة ذات طول موجي قصير وتصبح مفيدة للإنسان إذا وصلت له بكميات قليلة ، إذ تساعد الإنسان على العلاج من بعض الأمراض ومثل الكساح ، وذلك لقدرتها على إنتاج فيتامين (D) وان وصولها للأرض يكون بنسبة قليلة جدا ، وذلك لأنها تمتص من قبل غاز الأوزون الذي يكون ارتفاعه عن الأرض نحو (35km) .
- أما بقية الإشعاع الشمسي يقدر بنحو (1%) فيكون بشكل أشعة سينية وكاما وموجات راديوية [34].

10.I. الإشعاعات :

1.10.I. إشعاع الالكترونات :

هناك عدد كبير من الباحثين الذين درسوا بنشاط تأثير إشعاع بواسطة الالكترونات النشطة في الخلايا الشمسية القائمة على GaAs. لهذه الإشعاعات لها تأثير رئيسي على إنتاج التحولات الذرية

في المادة ، ونتيجة لهذه التحولات ، تنشأ عيوب هيكلية مثل الفجوات ، الخلايا البينية ، والعيوب المعقدة (فجوة مزدوجة ، وزوج الثغرة والشوائب ، وزوج الشوائب الخالي ، الخ) . تعمل العيوب الهيكلية إما كمراكز إعادة التركيب أو مراكز وثقوب محاصرة الإلكترون . سنقدم عددا من الدراسات حول تأثير الالكترونات النشطة من اجل الحصول على فكرة كمية حول حجم هذا النوع من الجسيمات على عمل الخلايا الشمسية ، ولا سيما كفاءة تحويل الخلايا المخصصة للتطبيقات الفضائية .

من بين الأعمال الأولى حول تأثير الإلكترونات النشطة على الخلايا الشمسية استناداً إلى GaAs ، عمل M. Yamaguchi وآخرون في 1983 [24] و R.Y Loo وآخرون في 1984 [25]. تم إنشاء علاقة مباشرة مقيسة تجريبياً بين طول انتشار ناقلات الأقلية وجرعة الإلكترونات في عينة n- نوع أو p- نوع GaAs:

$$1/L_2 = 1 L_0/2 + K\Phi \quad (5.I)$$

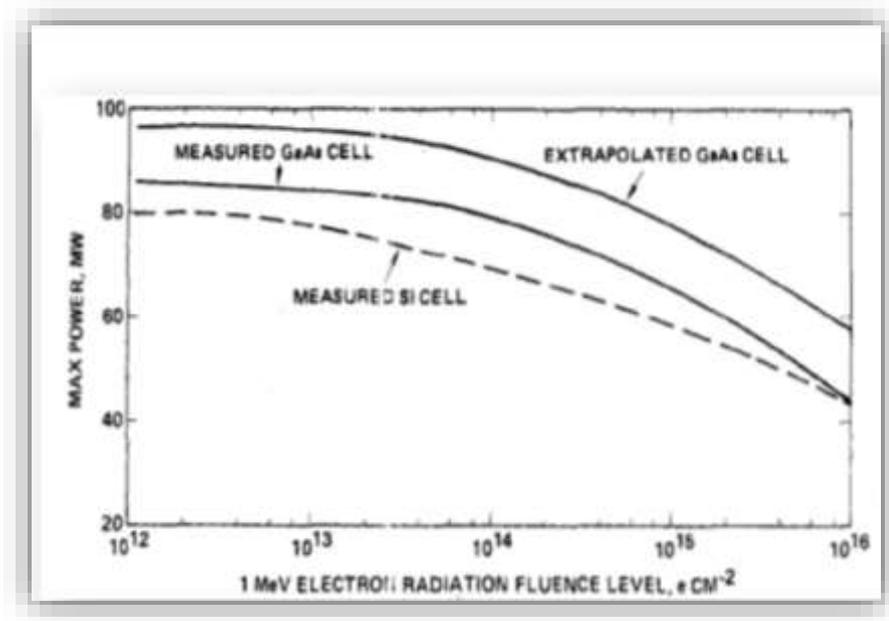
حيث L_0 هو طول الانتشار في العينة غير المشعة ،

ϕ (cm^{-2}) هي الجرعة (الطلاقة)

الإلكترونات و ثابت التناسب بلا أبعاد.

هذه العلاقة لها جعل من الممكن قياس تأثير الإشعاع بواسطة الإلكترونات نوعياً على أداء الخلية (تيار وكفاءة ماس كهربائي).

يوضح الشكل (11.I) القياسات التجريبية لتأثير التشعيع بواسطة إلكترونات 1 على الطاقة القصوى للخلية الشمسية AlGaAs-GaAs التي كانت المصنعة للتطبيقات الفضائية [25].



الشكل (11.I) : خلية شمسية AlGaAs-GaAs مشعة بالكترونات .

2.10.I. إشعاع البروتونات :

الجسيمات الأكثر استخداماً كمصدر للإشعاع هي النيوترونات والبروتونات لمحاكاة البيئة النووية المدنية وبيئة الفضاء ، على التوالي . بالنسبة للتطبيقات الفضائية ، تفضل البروتونات على الالكترونات لان قدرتها على الاختراق أعلى ، لذا فمن غير المرجح ان يتم حظرها بواسطة تدريع القمر الصناعي [26].

بالنسبة لإشعاع البروتون ، يرتبط عمق الاختراق بطاقة البروتونات . على عكس الالكترونات ، يتسبب قصف البروتون في حدوث أضرار غير منتظمة في المادة ، وتحدث غالبية الضرر بالقرب من نهاية مسار البروتون . لذلك ، يتم تحديد طبيعة الضرر الناتج عن إشعاع البروتون الى حد كبير من خلال عمق تغلغل البروتون في الخلية الشمسية . على سبيل المثال ، في الخلية الشمسية GaAs ، يتم إيقاف البروتونات منخفضة الطاقة (اقل من 300 KeV) في المنطقة النشطة للخلية ، بينما تخترق البروتونات عالية الطاقة (اكبر من 1 MeV) كل الخلية [27] . بالإضافة الى ذلك ، قيل ان عدد عيوب الإزاحة يزداد مع الانخفاض النسبي في طاقة الجسيم [27] . في فترة طاقة البروتون التي تمتد من مائة كيلو إلكترون فولت الى مئات إلكترون، يمكن ان تكون مساهمة بروتونات الطاقة >1MeV في خلق العيوب مهمة جدا [28].

لم يتم إجراء دراسات حول تأثيرات البروتونات بشكل مستقل عن دراسات الإلكترونات ، في العديد من الأعمال تقريبًا ، وجدنا هذين المحورين مصحوبين في نفس الدراسة. تعود الدراسات الأولى لتأثير البروتونات أيضًا إلى بدايات. العلاقة بين عمق اختراق البروتونات وخلق بالإضافة إلى حقيقة أن البروتونات منخفضة الطاقة (مئات KeV) هي أكثر فعالية ، تم تأكيده على أساس الملاحظات التجريبية التي أجراها «R Y Ioo» وآخرون في أواخر السبعينيات وأوائل الثمانينيات [29 ، 30 ، 31]. الخلايا الشمسية المعنية هي تقاطع p / n بعمق 0.5 في GaAs مع نافذة AlGaAs بسمك 0.5 μm .

10.I. العيوب:

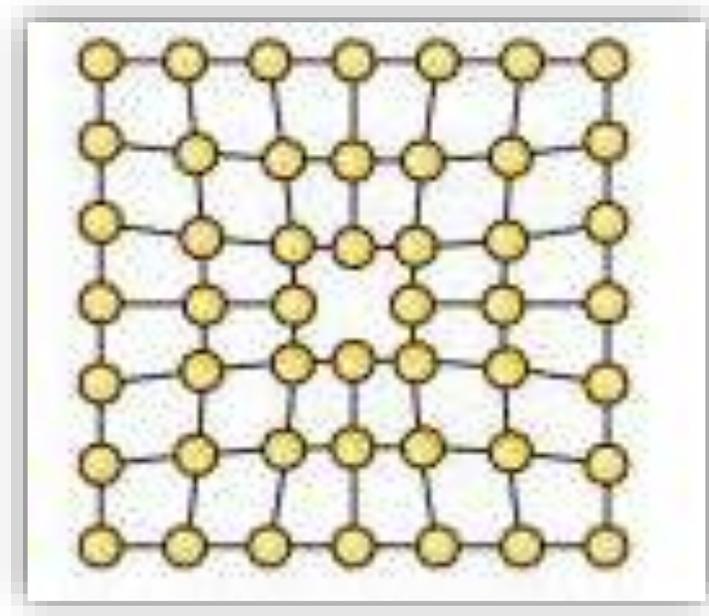
البنية البلورية هي بنية دورية ناتجة عن تكرار منتظم لعنصر من الذرات في جميع اتجاهات الفضاء، والعيوب بصفة عامة هي حيود أو اختلال قد يحدث في هاته البنية [38] .

1.10.I. العيوب النقطية:

هي اضطرب محلي في ترتيب ذري أو شاردي في بنية بلورية، وتتكون نتيجة حركة الذرات أو الشوارد عند اكتسابها طاقة بالتسخين اثناء معالجة المواد او ادخال الشوائب بقصد او دون قصد.

الفجوة:

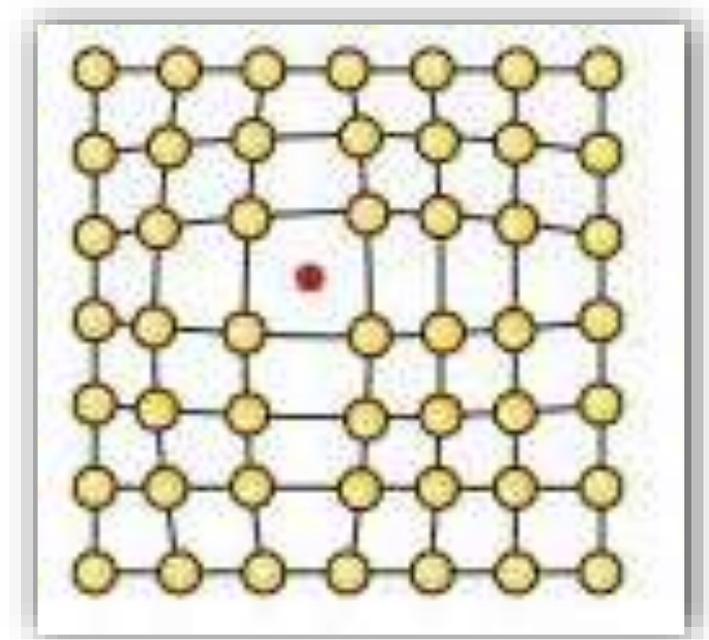
الفجوة هي ذرة او شاردة مفقودة من موضعها النظامي في بنية بلورية الشكل(1) في هذه الحالة فان او الانتروبي تزداد، وبالتالي ازدياد الاستقرار الترموديناميكي للمادة البلورية، وعليه فان جميع المواد البلورية تحتوي على فجوات [38] . تنتج الفجوة في المعادن والسبائك أثناء التصلب عند درجات حرارة مرتفعة او نتيجة الضرر الإشعاعي [38] .



الشكل (12.I) : عيب نقطي (فجوة) [38] .

العيوب البينية:

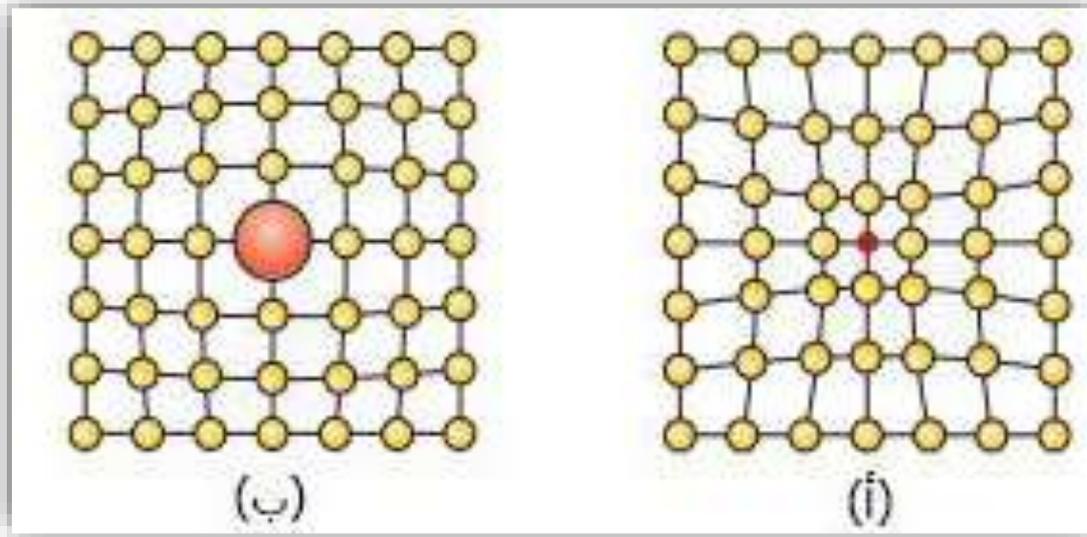
يتشكل العيب البيني عندما تحتل ذرة او شاردة إضافية موقع في البنية البلورية والذي يفترض ان يكون شاغرا في هذه البنية كما هو موضح في الشكل (2) [38] .



الشكل (13.I) : عيب بيني [38] .

العيب الإبدالي :

العيب النقطي الإبدالي ينشأ عند استبدال ذرة أو شاردة في بنية بلورية بذرة أو شاردة من نوع آخر -الشكل(3) قد تكون الذرة أو الشاردة الابدالية أكبر أو اقل حجما من الذرة أو الشاردة الأصلية، مما يؤدي الى تغيير في الأبعاد الذرية محليا [38] .

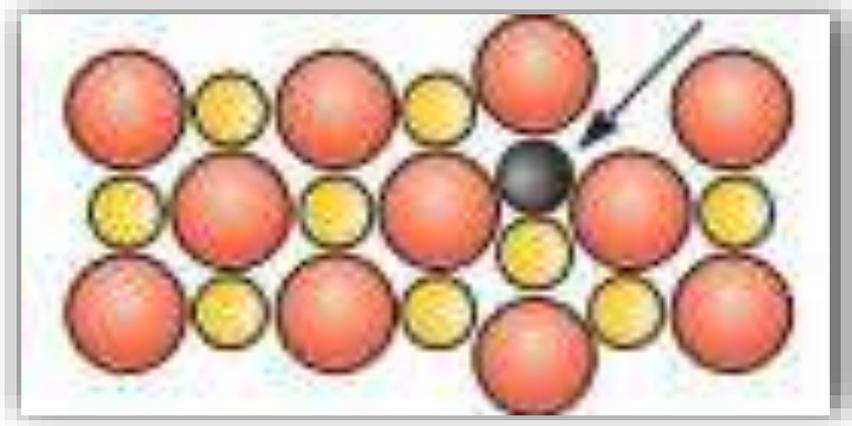


الشكل (14.I) : (أ) عيب إبدالي اقل حجما من العنصر الأصلي.

(ب) عيب إبدالي أكبر حجما من العنصر الأصلي [38] .

عيب فرنكل Frenkel defect :

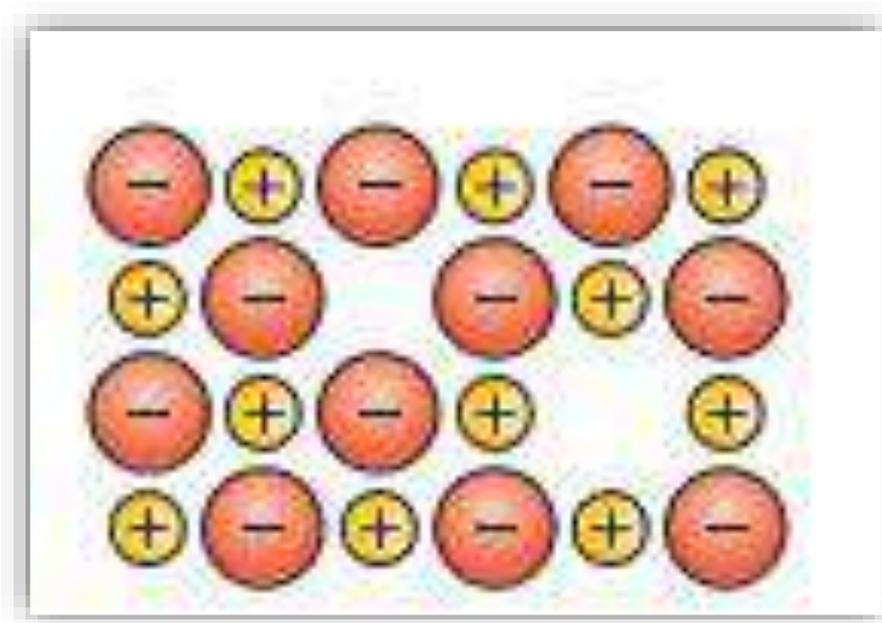
هو زوج فجوة - شاردة بينية يتشكل عندما تنتقل شاردة من موقع نظامي في الشبكة الى موقع بيني الشكل(4) مخلفة خلفها فجوة، يحدث هذا في الغالب في المواد الشارديية والمعادن المواد ذات الروابط المعدنية [38] .



الشكل (15.I) : عيب فرنكل [38]

عيب شوتكي Schottky defect

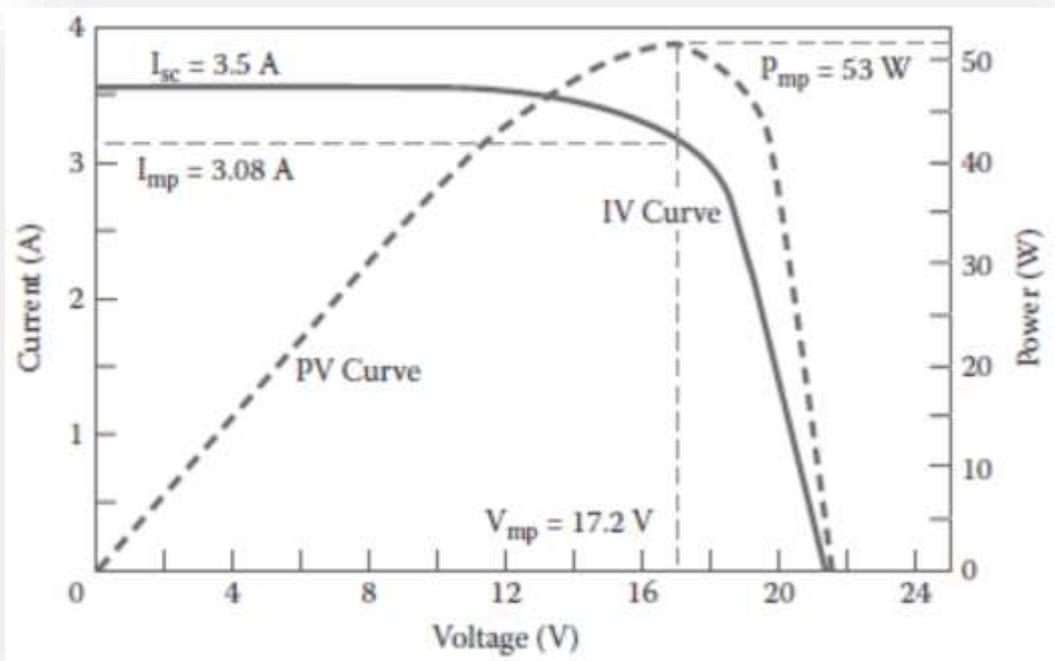
هذا العيب يوجد بالمواد الشاردية وشائع في مواد السيراميك , وهو خاص بانحفاظ الحياد الكهربائي الشكل (5) (مثال في ZrO_2 فان فجوة ناتجة عن غياب Zr^{+4} فسيكون هناك فجوتان نتيجة غياب O^{-2}).



الشكل (16.I): عيب شوتكي [38] .

11.I. الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية:

تتميز الخلايا الكهروضوئية عادةً بأربعة أداء: تيار الدارة القصيرة I_{SC} ، جهد الدارة المفتوحة V_{OC} ، معامل التعبئة FF ، و مردود التحويل الطاقوي η . كما هو موضح في الشكل (14.I) .

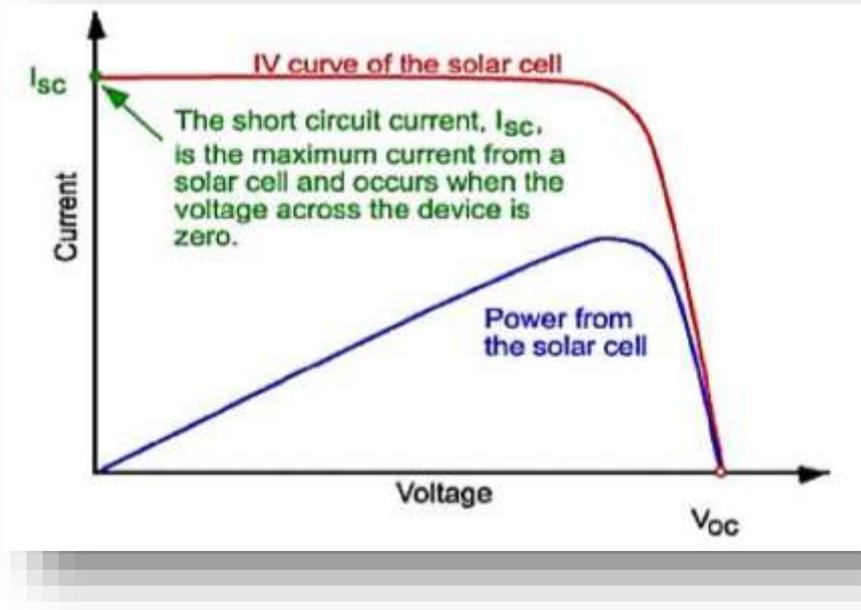


الشكل (17.I): منحنيات نموذجية I-V والطاقة [35].

1.11.I. تيار الدارة القصيرة I_{SC} :

تيار الدارة القصيرة المعبر عنه بـ هو التيار المتدفق في الخلية تحت الإضاءة وعن طريق تقصير أطراف الخلية . نتحصل على هذا التيار لما يكون الجهد بين طرفي الدارة معدوم ، حيث يزداد خطياً مع شدة الإضاءة الخلية، ويتعلق بالسطح المضاء وطول موجة الإشعاع وتنقل حاملات الشحنة ودرجة الحرارة. يمكن القول أيضاً أن التيار هو التيار الذي بدأته الخلية تحت الإضاءة لتقليل الإنتاج. وهو ما يعني: $I_{SC} = I (V = 0)$ والمعادلات التحليلية:

$$I = I_{ph} - I_{SC} \left(e^{V/V_T} - 1 \right) \quad (6.I)$$



الشكل (18.I): تيار الدائرة القصيرة I_{sc} [35].

2.11.I. جهد الدارة المفتوحة V_{oc} :

جهد الدارة المفتوحة (V_{oc}) هو الجهد الذي يكون فيه التيار المتدفق عبر الخلية معدوم ($I = 0$) [36].

يتم تحديد إجمالي التيار بالعلاقة:

$$I_T = I_{ph} + I_d \quad (7.I)$$

$$I_T = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{\eta K_B T}\right) - 1 \right] \quad (8.I)$$

عندما $I_T = 0, V = V_{oc}$ نجد:

$$V_{oc} = \frac{\eta K_B T}{q} \ln \left[\left(\frac{I_{ph}}{I_s} \right) + 1 \right] \quad (9.I)$$

حيث:

I_{ph} : التيار المتولد بالصورة بواسطة المولد الشمسي تحت الإضاءة (A).

I_d : التيار المباشر لخلية شمسية (A).

V : الجهد عبر الخلية (V).

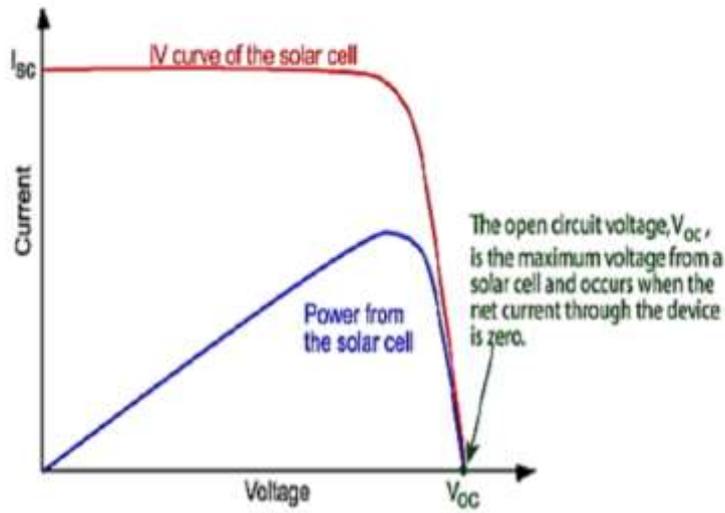
I_S : تيار التشبع للخلية الشمسية (A).

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

η : العامل المثالي للخلية الشمسية.

T : درجة الحرارة (K).

q : الشحنة الكهربائية (C).



الشكل (19.I): جهد الدارة المفتوحة V_{oc} [35].

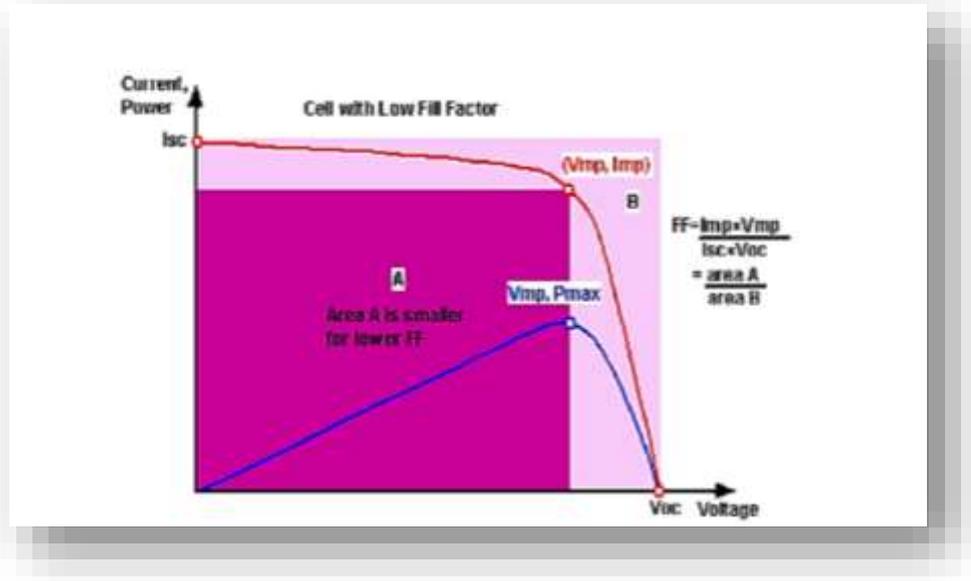
3.11.I. معامل التعبئة FF :

الاستطاعة المصروفة في الدارة الخارجية من طرف الخلية الكهروضوئية المضاءة تتعلق بمقاومة الحمولة (المقاومة المربوطة بين طرفي الخلية، هاته الاستطاعة تكون أعظمية) (P_{max}) من

$$P_{max} = J_{mpp} \times V_{mpp} \quad [37]$$

يعرف بالعلاقة التالية :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{V_{mpp} \times J_{mpp}}{V_{oc} \times J_{sc}} \quad (9.I)$$



الشكل (20.I): معامل التعبئة [35] FF.

4.11.I. مردود التحويل η :

المردود η يشير إلى مردود تحويل الاستطاعة، ويعرف، بأنه النسبة بين الاستطاعة العظمى المصروفة واستطاعة الضوء الساقط [36 37] P_{int} .

$$\begin{aligned} \eta_{photovoltaic} &= \frac{P_{max}}{P_{int}} \times (100\%) \\ &= \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{P_{int}} \times (100\%) \\ &= \frac{I_{sc} \times V_{oc}}{P_{int}} \times FF \times (100\%) \end{aligned}$$

$$P_{int} = E \times S \quad (10.I)$$

حيث:

I_{mpp} : التيار المطابق للحد الأقصى من الطاقة المزودة وحدته (mA/cm^2)

V_{mpp} : الجهد المقابل للحد الأقصى من الطاقة الواردة (V)

P_{int} : استطاعة الضوء الساقط وتساوي استطاعة الشمس ($P_{solaire} = 100 mW/cm^2$)

E: شدة الإضاءة في W/cm^2 .

S: مساحة الخلية الشمسية.

الفصل الثاني
مفاهيم عامة حول
SCAPS

1.II. مقدمة:

من خلال الاستفادة من التطور الملحوظ لتكنولوجيا أشباه الموصلات والالكترونيات الدقيقة على وجه الخصوص ، فان تطوير أدوات التصميم بمساعدة الكمبيوتر يجعل من الممكن محاكاة جهاز وتحسين معلماته الفيزيائية والتكنولوجية مسبقا حتى تصنيعه. تؤدي التكاليف الباهظة للتحقيقات التجريبية الى مواد كيميائية وغازات ضارة للغاية [39] .

يتم وصف تشغيل الخلية من خلال حل المعادلات الأساسية الثلاثة التي تحكم سلوك حاملات الشحنة وتسمح لنا بحساب الخاصية $I(V)$ للخلية الشمسية بالإضافة الى المعلمات الفيزيائية الأخرى مثل المجال E والتي توفر معلومات مفيدة حول أداء الخلية الشمسية. نظرا لكون الدقة التحليلية معقدة ومستحيلة عمليا ، فقد لجأنا الى الدقة الرقمية التي تتطلب عددا كبيرا من التكرارات .

يسمح محاكي scaps (Solar Cell Capacitance simulator) بنمذجة D-1 للسلوك الفيزيائي والكهربائي للخلايا الشمسية يتيح لنا ذلك توفير الوقت وتكلفة التطوير، وبالتالي التمكن من تصور الحلول وتحسينها لتحسين أداء الخلية . لها نفس مبدأ التشغيل (SYNOPSIS, ISE, AMPS , PC1D, SILVA) أجهزة المحاكاة الموجودة في السوق يحل المعادلات التفاضلية التي تحكم تشغيل الأجهزة الالكترونية بالطرق الرقمية [40] . في هذا السياق وكإكمال للدراسة التجريبية، تتكون مهمتنا في هاته الدراسة من محاكاة عددية لخلية شمسية $AlGaAs / GaAs / Si$ تتعرض لاضاءة أرضية $AM0$ عند درجة حرارة 300 درجة كالفن بواسطة سكايس .

2.II. تعريف Scaps:

Scaps-1D (محاكي بعد واحد للخلية الشمسية) وهو برنامج يتم استخدامه لمحاكاة السعة الشمسية الخلوية لمحاكاة الخصائص ذات الاغشية الرقيقة. تم تطويره في قسم الإلكترونيات ونظم المعلومات (ELIS) في جامعة جنت ، بلجيكا. يتم استخدامه للتحليل العددي للخلايا الشمسية الأداء والخصائص. قياسات متعددة لإعدادات إخراج الخلايا الشمسية يمكن القيام به من خلال SCAPS ويمكنه محاكاة جهد الدائرة المفتوحة (ocV)، وكثافة التيار (scJ)، والخاصية جهد-تيار ($J-V$)، معامل التعبئة (FF)، المردود الكمي (QE)، والمردود (η)، (التوليد و إلتحام إلخ). ساهم العديد من الباحثين في تطويره مثل: أليكس نيمي جيرس ، مارك بورجل مان ، كوين ديوكوك، ستيفان ديغريف، ويمكن محاكاة نقل ناقلات ، وقد تم تطوير SCAPS بشكل أساسي لنمذجة الطاقة الشمسية

الخلايا القائمة على طبقات رقيقة CIGS وعائلة CdTe التطورات الأخيرة تجعل تطبيق البرنامج بنجاح لنموذج الخلايا الشمسية على أساس مواد أخرى، مثلاً لخلايا الشمسية البلورية. هذا البرنامج متاحاً مجاناً لمجتمع الأبحاث الكهروضوئية (معاهد ومؤسسات البحث). وهو عملي للغاية لأنه يحتوي على قاعدة بيانات تحتوي على عدة أنواع من الخلايا الشمسية، ملف بيانات، يمكننا تعديل معالماتها المختلفة كما يمكن تقديم جميع المعلمات تقريباً مع اختلافات متدرجة (اعتماداً على تكوين الخلية وعمقها)، على سبيل المثال: $N_c, \chi, \epsilon, \mu_p, \mu_n, V_{thn}, V_{thp}$ ، ،

3.II. كيفية استخدام SCAPS

انقر فوق الرمز أعلاه على سطح المكتب ، أو انقر نقراً مزدوجاً فوق الملف SCAPS3200.EX في مدير الملفات أو في أي إصدار آخر من SCAPS يفتح SCAPS بلوحة الإجراءات. هناك لوحات مخصصة للإجراءات الأساسية. تتمثل اللوحات المخصصة للإجراءات الأساسية في:

- 1- قم بتشغيل SCAPS .
- 2- تحديد المشكلة والهندسة والمواد وكافة خصائص الخلية الشمسية قيد الدراسة.
- 3- وضح الظروف التي يتم إجراء المحاكاة فيها (حدد نقطة التشغيل)
- 4- أشر إلى القياس (المميز) المراد محاكاته
- 5- ابدأ العملية الحسابية
- 6- اعرض منحنيات المحاكاة (انظر القسم 6).



الشكل (1.II): لوحة بدء SCAPS أو الإجراء أو اللوحة الرئيسية.

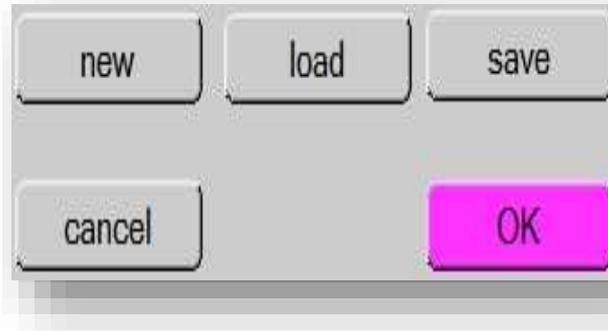
1.3.II. تشغيل Scaps:

تشغيل SCAPS: انقر فوق الرسم التخطيطي أعلاه على سطح المكتب ، أو انقر نقرًا مزدوجًا فوق الملف scaps3200.exe في مدير الملفات (أو أي إصدار SCAPS آخر). يفتح SCAPS مع لوحة العمل [41].

Set problem

2.3.II. حدد المشكلة:

انقر فوق زر تعيين المشكلة في لوحة الإجراءات ، واختر التحميل في الزاوية اليمنى السفلية من اللوحة التي تفتح. يمكنك تغيير جميع خصائص الخلية بالنقر فوق تعيين المشكلة في لوحة الإجراءات [41].

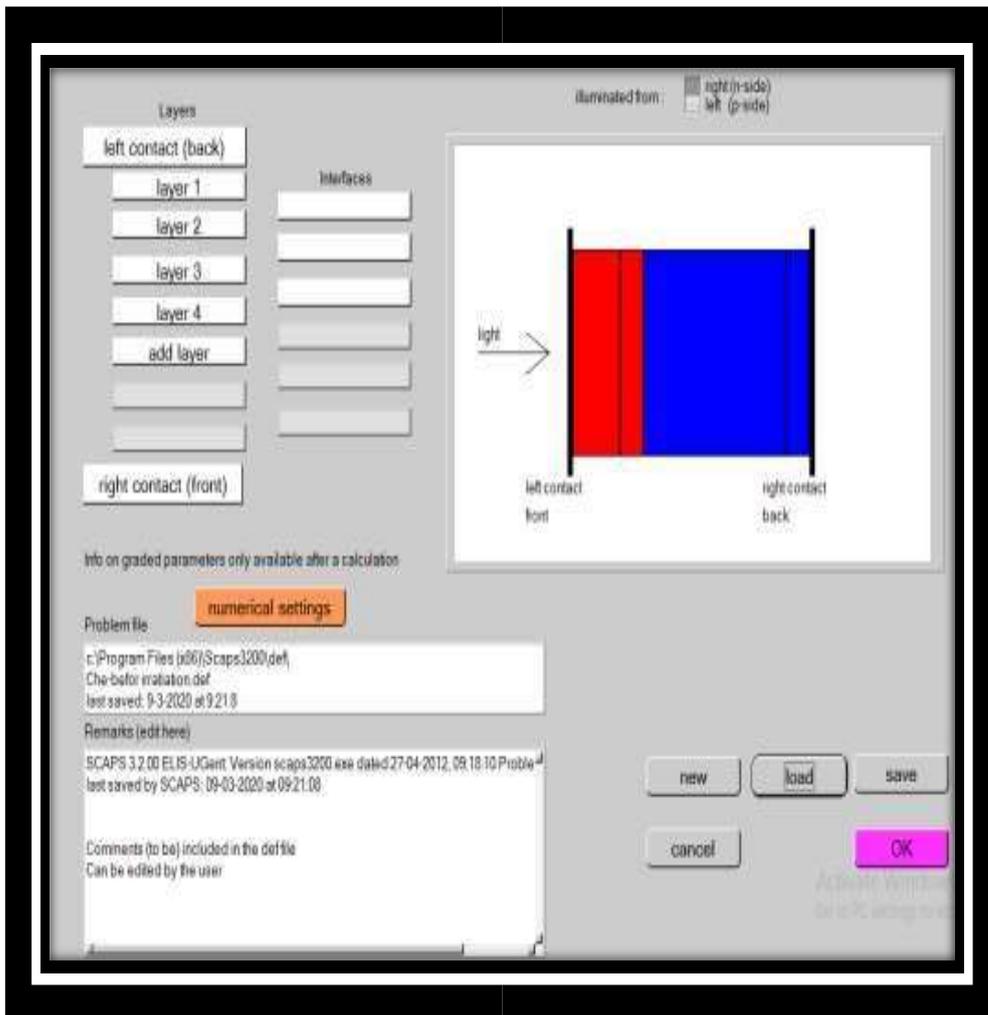


الشكل (2.II): تحديد المشكلة.

لتعريف المشكلة، الهندسة والمواد وجميع خصائص الخلية الشمسية، نضغط على زر "تعيين المشكلة". نجد لوحة تعريف الخلايا الشمسية الشكل 3. في هذه النافذة، يمكننا تحديد الهياكل التي تتكون من 9 طبقات. الطبقة الأولى هي طبقة الإتصال ؛ يمكن للمستخدم تحديد خصائص طبقات أشباه الموصلات المتوسطة 7 (كحد أقصى) لكل طبقة ، ما يصل إلى ثلاثة SRH مختلفة يمكن تحديد مراكز إعادة التركيب (منفصلة أو موزعة في الطاقة)، ولكل واجهة ما يصل إلى ثلاثة مراكز إعادة تشكيل الواجهة المختلفة (منفصلة أو موزعة في الطاقة) . باستثناء الاتصال الأمامي والخلفي، تحتوي كل طبقة على خصائص أشباه الموصلات التالية:

- ❖ السماكة (μm) .
- ❖ فجوة النطاق (eV) .
- ❖ تقارب الإلكترون (eV)
- ❖ السماحية العازلة (النسبية)
- ❖ كثافة التوصيل ذات النطاق الفعال للحالات (cm^{-2})

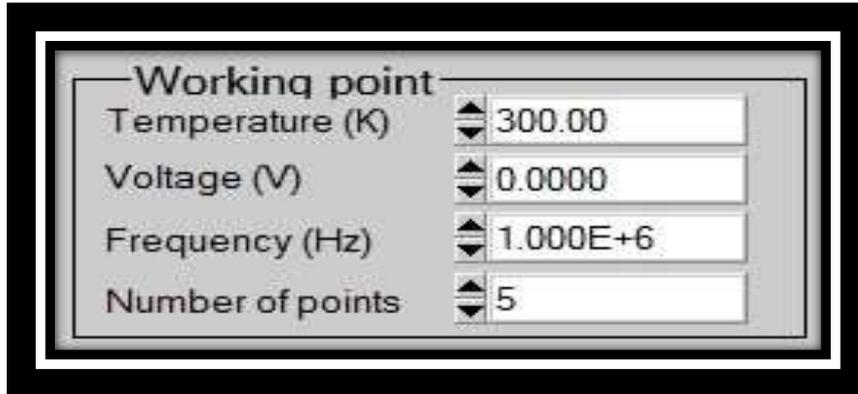
- ❖ كثافة التكافؤ الفعالة للحالات (cm^{-2})
- ❖ السرعة الحرارية الإلكترونية (cm/s)
- ❖ السرعة الحرارية لثقوب (cm/s)
- ❖ كثافة الحاملات للمانحات (N_D)
- ❖ كثافة الحاملات للأخذات (N_A)
- ❖ يمكن أخذ الامتصاص البصري لطبقات أشباه الموصلات من ملف مستخدم [41]



الشكل (3.II): لوحة تصميم الجهاز.

3.3.II. حدد نقطة العمل:

- تحدد نقطة العمل المعلمات التي لم تتغير في محاكاة القياس والتي لها صلة بهذا القياس. هكذا:
- **درجة الحرارة T:** مناسبة لجميع القياسات. ملاحظة: في SCAPS ، فقط $NC(T)$ ، $NV(T)$ ، السرعات الحرارية ، الجهد الحراري kT وجميع مشتقاتها هي المتغيرات الوحيدة التي لها اعتماد واضح على درجة الحرارة .
 - **الجهد V:** يتم التخلص منه في محاكاة I-V و C-V. إنه جهد تحيز التيار المستمر في محاكاة C-f وفي محاكاة QE (λ). يبدأ SCAPS دائماً عند 0 فولت ، ويستمر عند جهد نقطة العمل في عدد من الخطوات التي يجب عليك تحديدها أيضاً
 - **التردد f :** يتم التخلص منه في محاكاة I-V و QE (λ) و C-f. إنه التردد الذي يتم فيه محاكاة قياس C-V.
 - **الإضاءة :** تستخدم لجميع القياسات. بالنسبة لقياس QE (λ) ، فإنه يحدد ظروف ضوء التحيز. إعدادات الأساس هي: الظلام أو الفاتح ، واختيار الجانب المضيء ، واختيار الطيف. إن إضاءة شمس واحدة (= 1000 واط / م²) مع "كتلة الهواء 1.5 ، الطيف العالمي" هي الخيار الافتراضي ، ولكن لديك مجموعة كبيرة من الضوء والطيف أحادي اللون لمحاكاتها المتخصصة [41]. إذا كان لديك جهاز محاكاة بصري تحت تصرفك ، فيمكنك على الفور تحميل ملف تعريف جيل بدلاً من استخدام الطيف.



الشكل (4.II): نقطة التشغيل .

4.3.II. حدد القياس (القياسات) المراد محاكاته:

في جزء الإجراء من لوحة الإجراء ، يمكنك تحديد واحد أو أكثر من القياسات التالية لمحاكاة: I-V و C-V و C-f و QE (λ). اضبط ، إذا لزم الأمر ، قيم البداية والنهاية للوسيط ، وعدد الخطوات. في البداية ، قم بإجراء محاكاة واحدة في كل مرة .

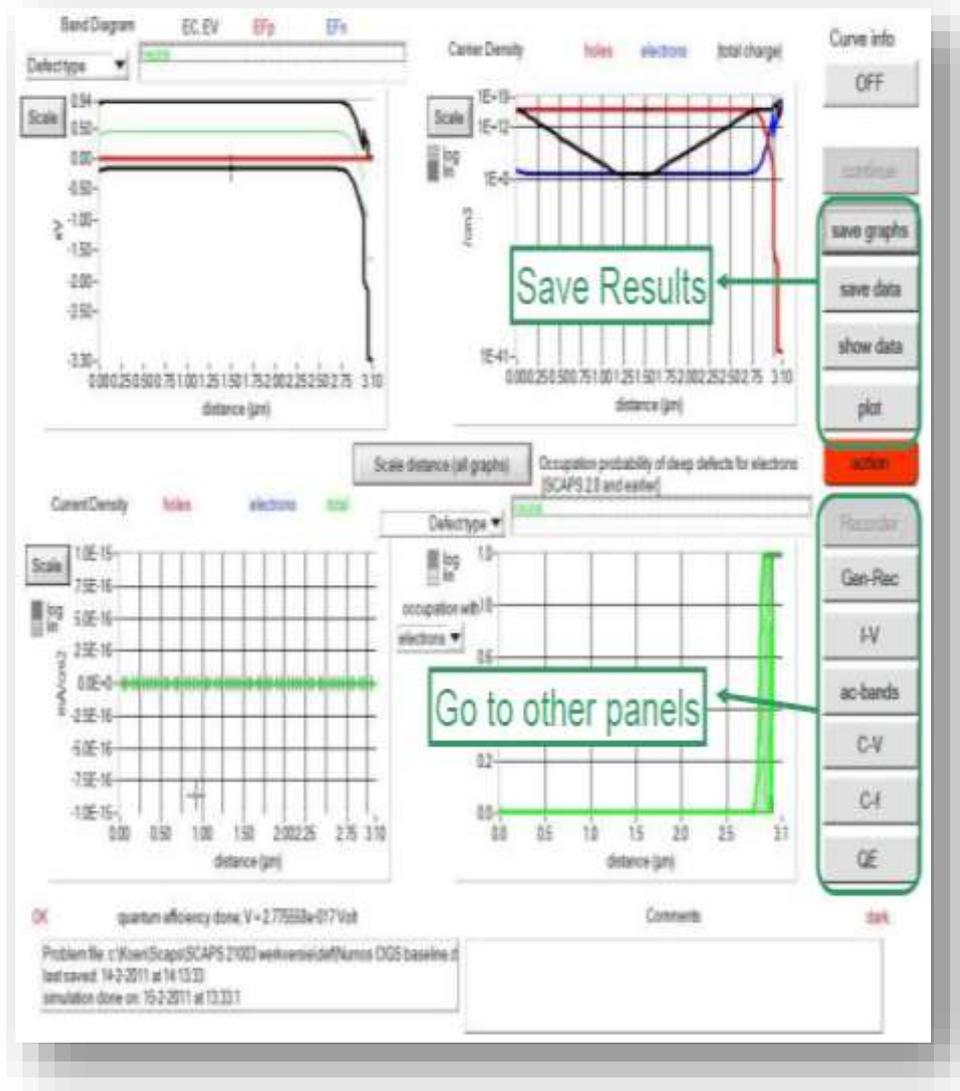
Calculate: single shot

5.3.II. ابدأ الحساب (الحسابات):

انقر فوق الزر حساب: تفتح لوحة EnergyBands ، وتبدأ العمليات الحسابية. في الجزء السفلي من اللوحة ، ترى سطر الحالة ، على سبيل المثال IV " من 0.000Volt إلى 0.800 Volt " ، يوضح لك كيف تستمر المحاكاة. وفي الوقت نفسه ، يوفر لك SCAPS فيلمًا مجانيًا عن كيفية تطور نطاقات التوصيل والتكافؤ ومستويات Fermi. عندما ترى رسالة الاختلاف المكروهة ، يحق لك الدخول في مزاج سيئ ، لكن لا تبالغ. على أي حال ، لم تخسر نقاط I-V المحسوبة بالفعل.

6.3.II. عرض المنحنيات التي تم محاكاتها :

بعد الحساب (الحسابات) ، يتحول SCAPS إلى ملف لوحة نطاق الطاقة (أو لوحة نطاق التيار المتردد). أنت يمكنك الآن إلقاء نظرة على سهولة استخدام المخططات الشريطية ، كثافة الموجات الحاملة ، الكثافة الحالية ، ... في النهاية تم حساب نقطة التحيز (إذا كنت تريد إلقاء نظرة على حالة وسيطة أوقف حساباتك ، و استخدم زر الإيقاف المؤقت في لوحة الإجراء). يمكنك إخراج النتائج وحفظ الرسوم البيانية ، أو احفظ الأرقام في ملف. يمكنك التبديل إلى إحدى لوحات الإخراج المتخصصة. نعرض فقط مثال اللوحة الرابعة.



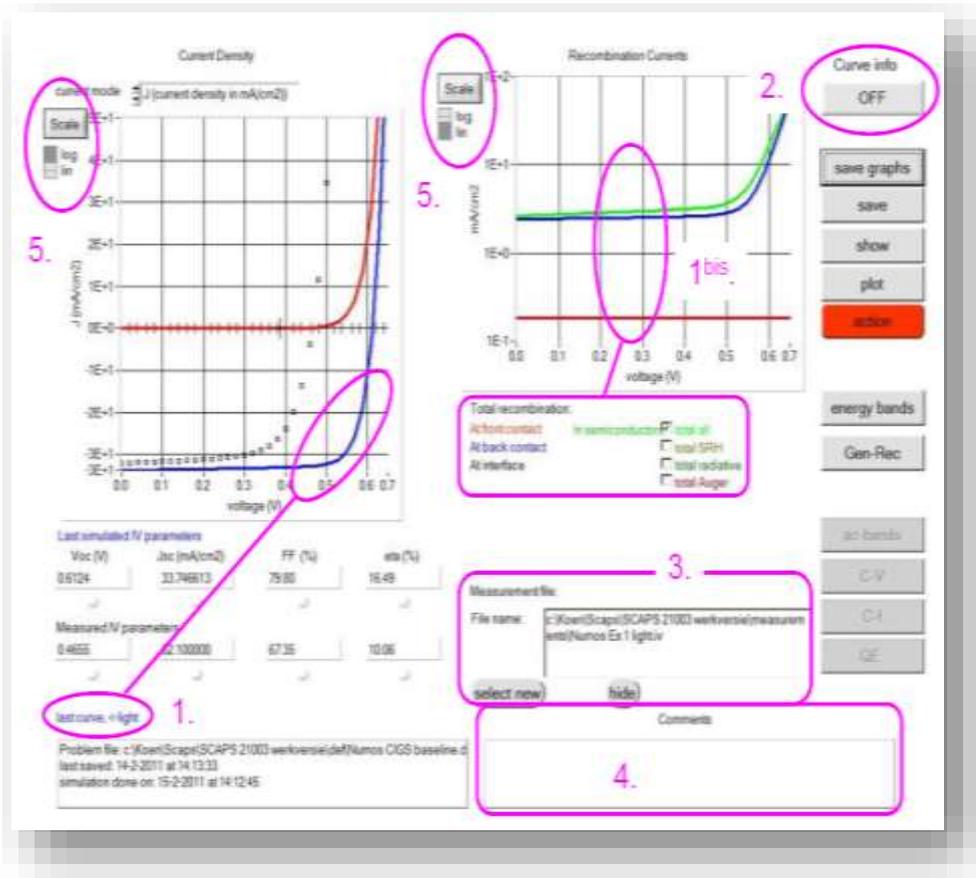
الشكل (5.II): لوحة نطاقات الطاقة.

7.3.II. المنحنيات (I-V) :

معنى أزرار الرسم أو العرض أو الحفظ هو بالنسبة إلى لوحة Energy Bands. مرة أخرى ، يمكنك التبديل إلى لوحات الإخراج الأخرى (نطاقات الطاقة ، التيار المتردد ، C-V ، C-f و QE ، إذا تم حسابها بالفعل) ، ولوحة الإجراء لإجراء عملية حسابية جديدة ، أو للتوقف (مهم: يمكنك فقط ترك SCAPS من لوحة العمل!).

يشار إلى لون آخر منحنى محسوب (نصيحة: عندما يصبح الرسم البياني مزدحمًا للغاية ، انتقل إلى الإجراء لوحة وانقر فوق مسح الكل عمليات المحاكاة لمسح جميع الرسوم البيانية). يتم عرض

منحنيات إعادة التركيب فقط لـ المحاكاة الأخيرة. إذا تم تشغيل Curve Info انقر فوق المؤشر الموجود على منحنى في الرسم البياني ، ستظهر اللوحة المنبثقة التي تعطي معلومات حول الرسم البياني والمنحنى و النقطة التي نقرت عليها. هنا يمكنك عرض ملف القياس (قياس واحد فقط في كل مرة!).



الشكل (6.II) : لوحة عرض المنحنيات I-V في الظلام وفي الإضاءة.

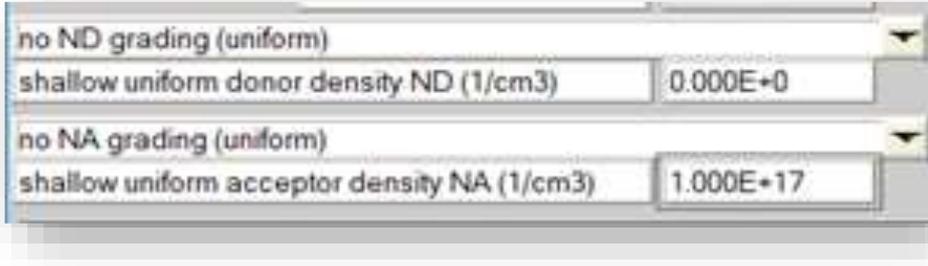
8.3.II. تعريف الطبقات :

من خلال النقر على زر "إضافة طبقة" ، تفتح نافذة (الشكل 6.II) تحتوي على المعلمات المختلفة للمادة المراد تقديمها. يمكن أن يكون لهذه المعلمات توزيعات منتظمة أو غير منتظمة . في المربع الأول ، ندخل اسم الطبقة (الذي يتوافق مع نوع التطعيم) ، وفي المربع الثاني ، يتم إدخال سماكة

الطبقة . تتعلق الكتلة الثالثة بنقاء المادة وشكلها الجانبي. في المربع الرابع ، نقدم: فجوة الطاقة ، تقارب الإلكترون ، سماحية العزل ، الكثافة الفعالة لنطاقات التوصيل والتكافؤ ، السرعات الحرارية للإلكترونات والثقوب الحرة ، تنقل الإلكترونات والثقوب. أخيرًا ، الصندوق ، الذي يسمح بإضافة الكتل الفعالة للإلكترونات والثقوب إذا أخذنا في الاعتبار نقل الموجات الحاملة عن طريق تأثير النفق. إذا كانت المادة عبارة عن مركب من عناصر ذات تركيزات غير موحدة ، فيمكن للمرء إدخال اختلافات تدريجية في المعلمات السابقة. في الخانة الخامسة ، الشكل (7.II) ، نقدم التطعيم والنوع والكثافة. يمكن أيضًا تقديم التطعيمات على أنها موحدة ، حيث يمكن أن يكون لها اختلافات تدريجية (خطية ، مكافئة ، ...). في الخانة السادسة نحدد امتصاص الطبقة كما هو مبين في الشكل (8.II) ويمكن تحديد الامتصاص من خلال النموذج التحليلي المقدم من قبل SCAPS حيث يمكن إدخالها كبيانات. يوفر SCAPS عددًا من بيانات الامتصاص لعدة أنواع من أشباه الموصلات. يمكنك أيضًا استخدام بيانات أخرى من الامتصاص لأشباه الموصلات غير متوفرة في SCAPS ، بشرط أن يكون للملف نفس امتداد ملفات الامتصاص التي يوفرها SCAPS [42].

SCAPS 3.2.00 Layer Properties Panel	
LAYER 1	CZTS
thickness (µm)	2.500
	uniform pure A (y=0)
The layer is pure A: y = 0, uniform	0.000
Semiconductor Property P of the pure material	pure A (y = 0)
bandgap (eV)	1.500
electron affinity (eV)	4.500
dielectric permittivity (relative)	10.000
CB effective density of states (1/cm ³)	2.200E+18
VB effective density of states (1/cm ³)	1.800E+18
electron thermal velocity (cm/s)	1.000E+7
hole thermal velocity (cm/s)	1.000E+7
electron mobility (cm ² /Vs)	1.000E+2
hole mobility (cm ² /Vs)	2.500E+1
Allow Tunneling	effective mass of electron: 1.000E+0
	effective mass of holes: 1.000E+0

الشكل (7.II): خصائص الطبقة المضافة.



الشكل (8.II): خصائص التطعيمات المحددة.

9.3.II. هيكل خصائص الطبقات:

يمكننا تحديد أو إضافة طبقات في برنامج SCAPS-1D بالنقر فوق الزر "إضافة طبقة" الوارد في القسم 1 من الشكل (8.II.)

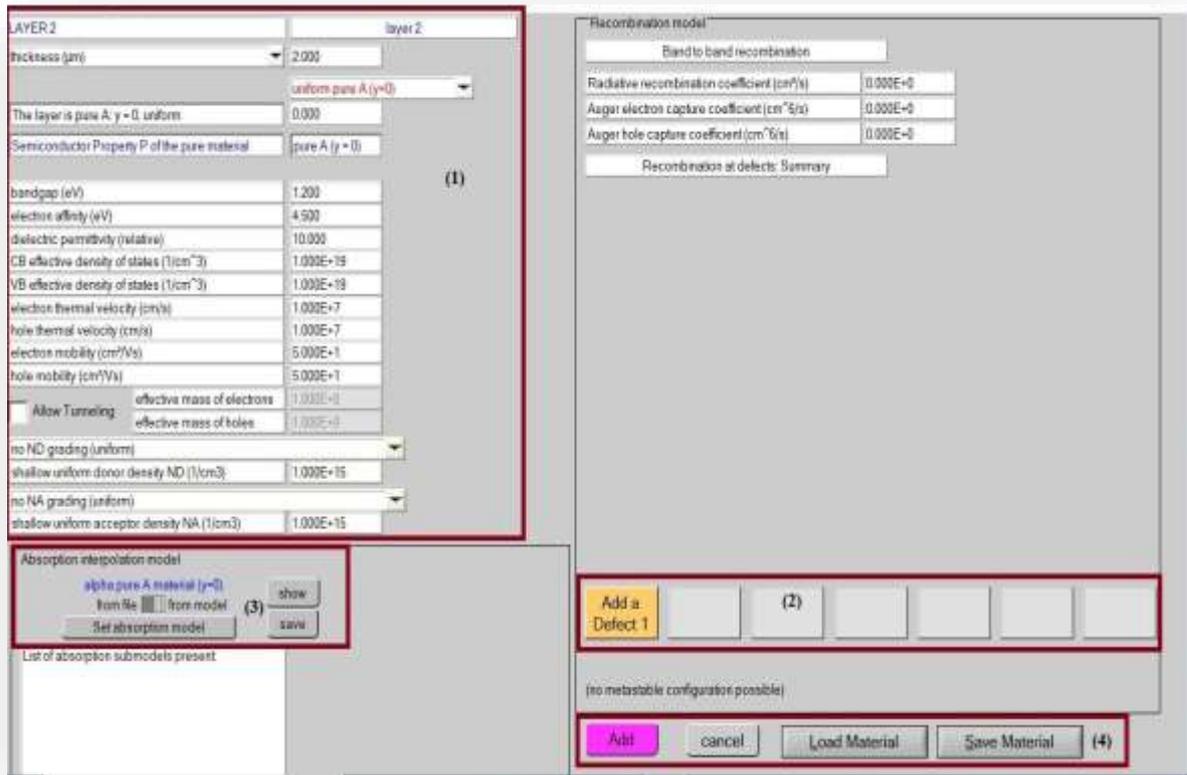
وبالتالي ، ستظهر نافذة جديدة تسمى "لوحة خصائص الطبقة" (الشكل 8.II).

يمكن تقسيم لوحة خصائص الطبقة إلى ثلاثة أجزاء رئيسية على النحو التالي:

- القسم (1): لضبط أو إضافة قيم المعلمات المادية للطبقة في واجهة خصائص الطبقة.
- القسم (2): تعريف معلمة عيوب المواد بالضغط على زر "إضافة عيب".
- القسم (3): تحديد معامل الامتصاص للمادة. يمكن تحديد هذا العامل إما من نموذج الحساب الداخلي أو من الملف.

وتحميل ملفات تعريف المادة المحفوظة مسبقاً. أزرار SCAPS.

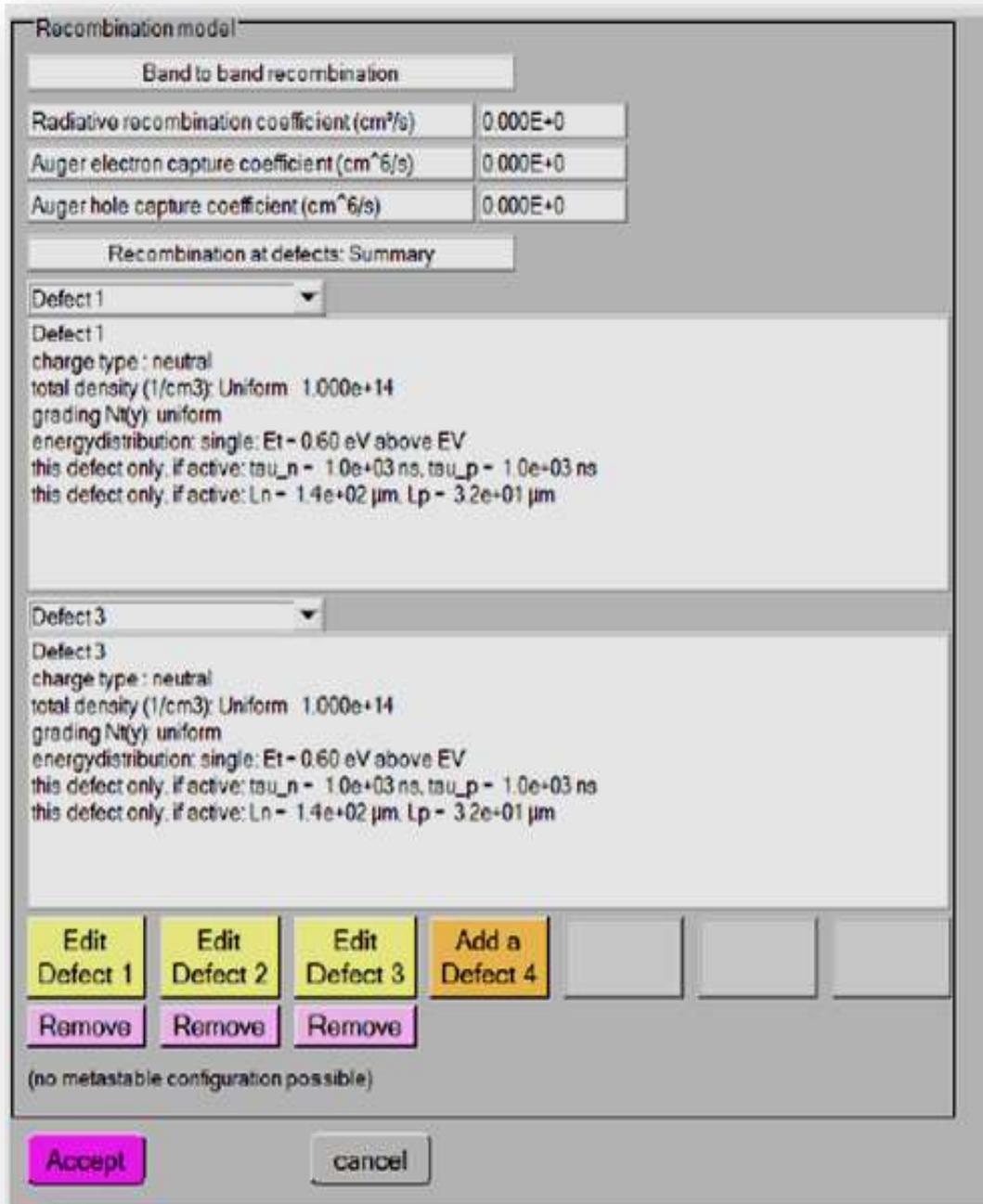
- القسم (4): يحتوي على أزرار لحفظ تعريف ملف المادة في مكتبة "إلغاء" و "موافق" مخصصة لمغادرة لوحة خصائص الطبقة والعودة إلى لوحة تعريف الخلية الشمسية [42].



الشكل (9.II): لوحة خصائص الطبقة.

10.3.II. إضافة العيوب :

في الصمام الثنائي ، يتم تحويل التيار الى تيار ثقب عند تلامس p لتيار الإلكترون للاتصال n هذا يعني أنه في مكان ما في الصمام الثنائي يجب ان يتم إعادة التركيب ، حتى في الجهاز الأكثر مثالية . ثم يجب على المستخدم تحديد إعادة التركيب بعضا أو أقل في مكان واحد (في طبقة ، عند جهة اتصال أو واجهة) [43] . إذا لم يحدث ذلك ، سيؤدي فشل التقارب الى ظروف عدم توازن (التوتر غير الصفري أو الإضاءة) [44] . في معظم طبقات أشباه الموصلات ، هناك ثلاثة أنواع مختلفة من يمكن إدخال إعادة التركيب : عن طريق العيب ، الإشعاعي [45] Auger. يمكن إدخال ما يصل الى سبعة عيوب في طبقة أشباه الموصلات . الإعدادات يمكن تعديل كل عيب بالنقر فوق إضافة تحرير الزر المناسب ، الشكل (9.II) ، الذي يفتح لوحة خصائص العيب في الشكل (10.II).



الشكل (10.11): إضافة العيوب.

Defect 1 of nGaAs

defect type	Neutral
capture cross section electrons (cm ²)	1.000E-15
capture cross section holes (cm ²)	1.000E-15
energetic distribution	Single
reference for defect energy level Et	Above EV (SCAPS < 2.7)
energy level with respect to Reference (eV)	0.600
characteristic energy (eV)	0.100

no Nt grading (uniform)

Nt total (1/cm³) uniform Nt 1.000E+14

Optical capture of electrons From model
From file

refractive index (n)	3.000
effective mass of electrons (rel.)	1.000E+0
effective field ratio	1.00E+0
cut off energy (eV)	10.00

optical electron capture cross sections file:

Optical capture of holes From model
From file

refractive index (n)	3.000
effective mass of holes (rel.)	1.000E+0
effective field ratio	1.00E+0
cut off energy (eV)	10.00

optical hole capture cross sections file:

add
cancel

الشكل (11.11): لوحة خصائص العيب.

العيوب هي أهم المعايير دراسة لدينا في SCAPS يتم تحديد العيوب بالمعلومات التالية :

- مكانة مستوى الطاقة في الفجوة.
- نوع العيب (مانح أو محايد).
- المقطع العرضي لالتقاط الإلكترون الحراري.
- المقطع العرضي لالتقاط ثقب الحراري.
- التوزيع النشط (فردي ، موحد ، ...).
- مرجع لعيوب الطاقة مستوى (فوق E_c أو E_v).
- المقطع العرضي الالتقاط البصري للإلكترون.
- المقطع العرضي الالتقاط البصري ثقب.
- تركيز عيب [46].

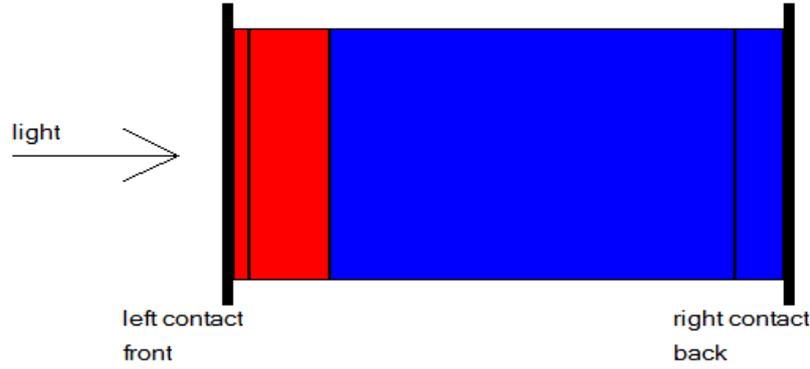
الفصل الثالث المناقشة والنتائج

1.III مقدمة:

هناك العديد من برامج المحاكاة مثل : PC1D-AMPS-1D ومن بين أدوات المحاكاة المتاحة SCAPS ، تم تطوير SCAPS بشكل أساسي لنمذجة الطاقة الشمسية الخلايا القائمة على طبقات رقيقة CIGS وعائلة CdTe. التطورات الأخيرة تجعل تطبيق البرنامج بنجاح لنموذج الخلايا الشمسية على أساس مواد أخرى، مثلًا لخلايا الشمسية البلورية Si و GaAs تم تصميم برنامج SCAPS لمحاكاة منحنى الخاصية الكهربائية ($J - V$) ومعامل التعبئة (FF)، كثافة تيار الدارة القصيرة (J_{sc}) ، جهد الدارة المفتوحة (V_{oc})، ومردود التحويل الطاقوي η . حيث يصف هذا الفصل هيكل الخلية الشمسية، بعض الإعدادات الفيزيائية المتعلقة بتأثير مصائد الثقوب على وصلة غير متجانسة AlGaAs /GaAs/Si في وجود وغياب الإشعاع والمقارنة بينهم ويعرض هذا الفصل ويناقش نتائج تم الحصول عليها باستخدام برنامج SCAPS.

2.III. بنية الخلية الشمسية المدروسة:

الخلية الشمسية المدروسة على أساس AlGaAs /GaAs / Si وهي من نوع $n^+/n/p^+/p^+$ وسمكها الإجمالي يقدر بحوالي $d = 3.5 \mu m$ كما هو مبين في الشكل (1.III). والهدف من هذه الدراسة معرفة مدى تأثير هذا النوع من الخلايا الشمسية بإشعاع الالكترونات، ونخص بالذكر هنا تأثير مصائد الثقوب التي يولدها اشعاع الالكترونات اثر تعريضه للخلية الشمسية . الإعدادات الخاصة بالمواد التي تم إدخالها في برنامج محاكاة SCAPS هي الثوابت الخاصة بالمواد كما هو موضح في الجدول (1.III) ، بالنسبة لإعدادات المواد التي تم ادراجها في برنامج محاكاة قمنا باستخراجها من المرجع [47] وهي مستمدة من الاعمال التجريبية، اما فيما يخص الإعدادات الخاصة بالخلية والمتمثلة في أبعاد الخلية الشمسية المدروسة في هذا العمل والتي تشمل السمك والتطعيم فهي مدونة في الجدول (2.III) . بالنسبة لمصائد الثقوب والتي هي عبارة عن مستويات طاقة تتوضع عند حواف النطاق الممنوع، واحتمال اقتناصها للثقوب أكبر بكثير من احتمال اقتناص الالكترونات، قمنا باستخراج وتلخيص ثم تدوين خصائصها (مصائد الثقوب) المستعملة في هذا العمل والمقاسة تجريبيا كما هو موضح في الجدول (3.III).



الشكل (1.III) : بنية الخلية الشمسية المدروسة (n+ /n/p+/p+) AlGaAs / GaAs/Si .

الجدول (1.III): إعدادات المواد التي تم ادراجها في برنامج محاكاة SCAPS [47] .

Si	GaAs	AlGaAs	الإعدادات
1.15	1.42	1.8	النطاق الممنوع E_g (eV)
4.01	4.07	4.07	التقارب الإلكتروني χ (eV)
11.8	12.9	12.9	السماحية النسبية
			ϵ_r ($F \cdot cm^{-1}$)
2.7×10^{19}	4.7×10^{17}	4.7×10^{17}	كثافة الإلكترونات
			N_c (cm^{-3})
1.1×10^{19}	7×10^{18}	7×10^{18}	كثافة الثقوب
			N_v (cm^{-3})
1350	8×10^3	8×10^3	حركية الإلكترونات
			μ_n ($\frac{cm^2}{s}$)
480	4×10^{12}	4×10^{12}	الثقوب حركية
			μ_p ($\frac{cm^2}{V \cdot s}$)

الجدول (2.III): التطعيم والسلك الخاص بالخلية الشمسية المدروسة /GaAs / Si

AlGaAs

المنطقة n^+	المنطقة n	المنطقة p^+	المنطقة p^+	
Si	GaAs	GaAs	AlGaAs	
10^{19}	10^{16}	4×10^{17}	2×10^{18}	التطعيم (cm^{-3})
0.3	2.5	0.5	0.1	السلك (μm)

الجدول (3.III) : خصائص العيوب المستعملة في هذا العمل و المقاسة تجريبيا [48] .

$\sigma_p(cm^2)$	$\sigma_n(cm^2)$	$E_t(eV)$	العيوب
2.6×10^{-13}	5.7×10^{-13}	$E_v + 0.13$	H_1
2×10^{-14}	2.6×10^{-13}	$E_v + 0.29$	H_2
6.4×10^{-15}	8.3×10^{-13}	$E_v + 0.35$	H_3
4×10^{-13}	3×10^{-11}	$E_v + 0.71$	H_4

3.III. الخلية الشمسية AlGaAs /GaAs / Si قبل تعرضها للإشعاع :

في هذه الحالة سوف نعتبر الخلية الشمسية غير معرضة للإشعاع الالكتروني وبالتالي سنعمل على دراسة الخلية الشمسية قبل تعرضها للإشعاع في هذه الحالة لن نقوم بإدراج العيوب والمتمثلة في مصائد الثقوب في المحاكي SCAPS وكذا سنتحصل على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية AlGaAs /GaAs /Si والمتمثلة في معامل التعبئة (FF) ،كثافة تيار الدارة القصيرة (Jsc) ، جهد الدارة المفتوحة (Voc) ،ومردود التحويل الطاقوي η قبل تعرض الخلية الشمسية للإشعاع الالكتروني . يتم تلخيص نتائج المحاكاة قبل التعرض للإشعاع في الجدول (4.III).

الجدول 4-III :الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية قبل تعرض الخلية الشمسية للإشعاع الالكتروني .

$\eta(\%)$	FF(%)	Jsc(mA/cm ²)	Voc(V)	AlGaAs /GaAs / Si
24.42	87.82	39	0.96	

إن الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية من نوع AlGaAs /GaAs / Si و المتحصل عليها من خلال المحاكاة هي على التوالي : $V_{co} = 0.96 V$ ، $J_{sc} = 39 mA/cm^2$ ، $FF = 87.82\%$ و $\eta = 24.42\%$. هذه النتائج والتي تم الحصول عليها من المحاكاة هي نتائج جد معقولة بل حسنة وهي تنتمي الى المجال المعروف والمعمول به في مجال الخلايا الشمسية القائمة

على GaAs. اضافة الى ذلك فان وفي حالة ماذا قارنا النتائج التي تحصلنا عليها في المحاكاة مع اعمال اخرى اجريت في مجال البحث حول

الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية القائمة على GaAs و Si سنجدها افضل منها بكثير (انظر الجدول (5.III) [47] و الجدول (6.III) [48])

الجدول (5.III) : الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية القائمة على GaAs [47] .

البنية	المساحة cm^2	$Voc(V)$	$Isc(mA/cm^2)$	FF(%)	η (%)	مركز الاختبار
غير المتجانسة PPN-	1	1.021	27.8	83.7	23.7	-
GaAs(AlGaAs)	3.91	1.022	28.2	87.1	25.1	NREL ^(a)
- الشرائح الرقيقة GaAs	4	1.011	27.6	83.8	23.3	NREL
PN-	1	1.036	27.5	85.1	24.2	ISE ^(b)
GaAs(AlGaAs)						
PN-	8	1.038	26.9	83.5	23.4	ISE
GaAs(AlGaAs)						
PN-	8	1.038	27.1	82.9	23.3	ISE
GaAs(AlGaAs)						
	4	1.022	28.2	87.1	25.1	ISE
GaAs(AlGaAs)						

(a) المختبر الوطني للطاقة المتجددة (الولايات المتحدة الأمريكية).

(b) معهد فراونهوفر لنظام الطاقة الشمسية (ألمانيا).

الجدول (6.III) : الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية القائمة على GaAs [48] .

معلومات الإخراج	محاكاة 2D	تجريبي	محاكاة 1D	محاكاة 2D
$J_{sc}(mA/cm^2)$	28.58	32.37	23.86	24.08
$Voc(V)$	0.977	1.017	1.01	0.95
FF	0.884	0.815	0.88	0.839
$\eta\%$	18.30	19.9	15.60	14.1

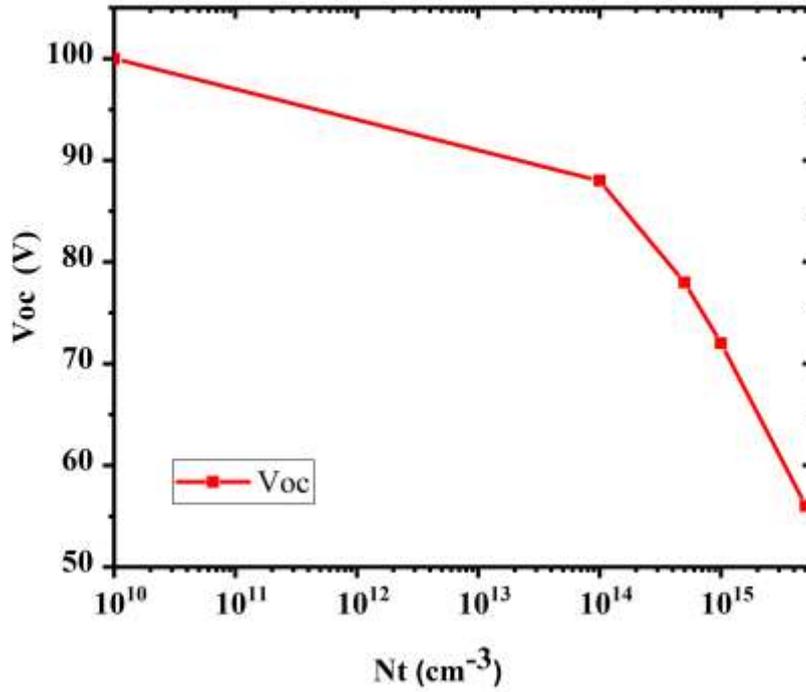
4.III. تأثير كثافة العيوب N_t :

هنا سنعمل على ادراج الخصائص المتعلقة بالخلية الشمسية المدروسة على أساس Si / GaAs/ والتي هي من نوع p+/p+/n/n في المحاكى SCAPS وسمكها الإجمالي يقدر بحوالي $d = 3.5 \mu\text{m}$ بالنسبة للمنطقة p+ / AlGaAs والتي تمثل الطبقة النافذة تكون بسمك $0.1 \mu\text{m}$ وتطعيم يساوي $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ اما المنطقة p+ / GaAs تكون بسمك $0.5 \mu\text{m}$ وتطعيم يساوي $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ فيما يخص المنطقتين n/ GaAs و n+ / Si فتكونان بتطعيم 10^{16} cm^{-3} و 10^{19} cm^{-3} و سمك $0.3 \mu\text{m}$ و $2.5 \mu\text{m}$ على التوالي.

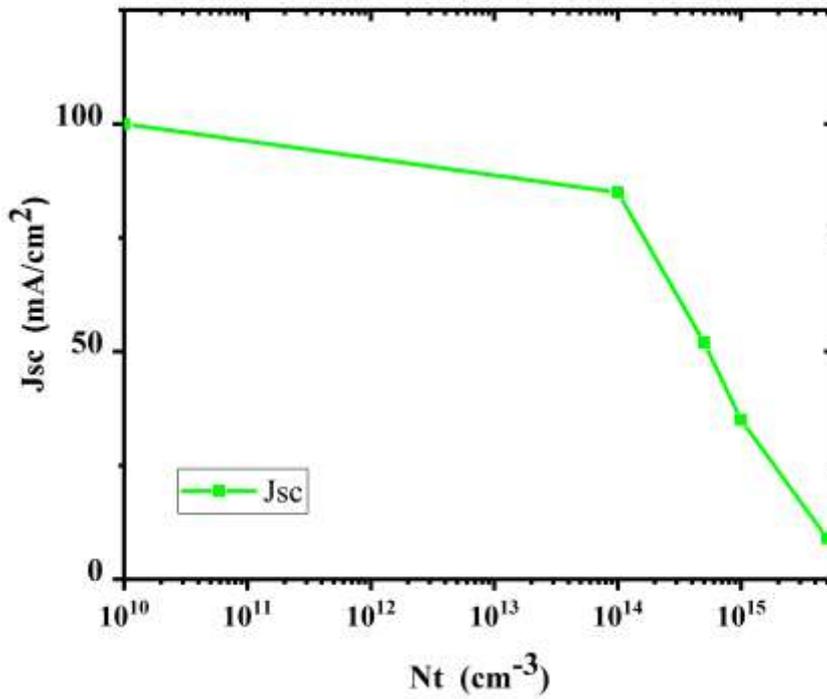
لدراسة تأثير كثافة العيوب N_t على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية AlGaAs / GaAs / Si يجب علينا ادراج العيوب ونقصد هنا مصائد الثقوب الناتجة عن الاشعاع الالكتروني في المحاكى SCAPS بالنسبة لمصائد الثقوب فهي مستمدة من المقال [48] وقد تم التوصل اليها تجريبيا والجدول (3.III) يوضح خصائص العيوب المستعملة في هذا العمل و المقاسة تجريبيا [48]. الجدول (7.III) يلخص نتائج تأثير كثافة العيوب N_t على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية المدروسة بعد تعرضها للاشعاع. الشكل (1-III) يوضح تأثير كثافة العيوب على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للخلية الشمسية. الشكل (2-III) يوضح تأثير كثافة العيوب على كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} للخلية الشمسية. الشكل (3-III) يوضح تأثير كثافة العيوب على معامل التعبئة FF للخلية الشمسية. الشكل (4-III) يوضح تأثير كثافة العيوب على المردود التحويل الطاقوي η الخلية الشمسية.

الجدول (7.III): تأثير كثافة العيوب N_t على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية / Si / AlGaAs / GaAs .

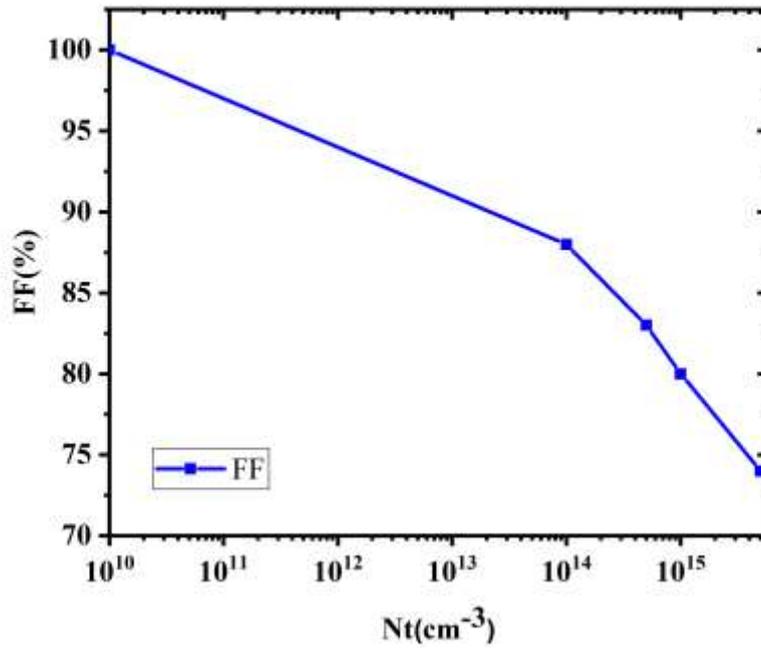
η (%)	FF (%)	$J_{sc}(\text{mA}/\text{cm}^2)$	$V_{oc}(V)$	$N_t(\text{cm}^{-3})$
24.42	87.82	39	0.96	قبل الإشعاع
16.05	77.62	33.18	0.85	10^{14}
8.19	72.94	20.44	0.75	5×10^{14}
4.87	70.52	13.58	0.69	10^{15}
1.21	65.15	3.43	0.54	5×10^{15}



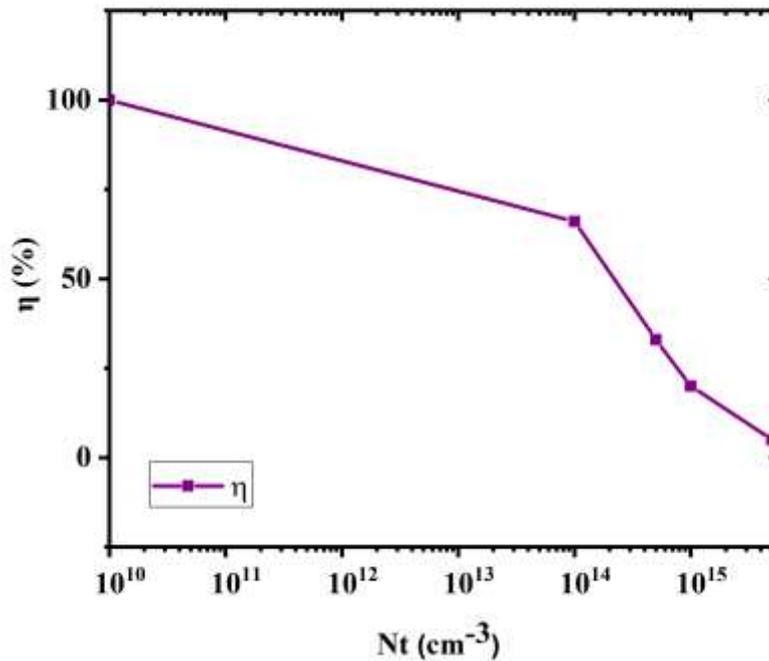
الشكل (III-2) : يوضح تأثير كثافة العيوب على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للخلية الشمسية.



الشكل (III-3) : يوضح تأثير كثافة العيوب على كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} للخلية الشمسية.



الشكل (III-4) : يوضح تأثير كثافة العيوب على معامل التعبئة FF للخلية الشمسية.



الشكل (III-5) : يوضح تأثير كثافة العيوب على المردود التحويلي الطاقوي η للخلية الشمسية.

نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها في برنامج محاكاة SCAPS الموضحة في الجدول (5-III) والأشكال (1-III)، (2-III)، (3-III)، (4-III)، كلما زادت قيمة كثافة العيوب N_t ابتداءً من القيمة 10^{14}cm^{-3} الى غاية القيمة 5.10^{15}cm^{-3} ، تتناقص كل الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية المدروسة $\text{AlGaAs / GaAs / Si}$ والمتمثلة في جهد الدارة المفتوحة V_{oc} وكثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} ومعامل التعبئة FF وكذلك المردود التحويلي الطاقوي η للخلية الشمسية، حيث ان قيمهم الابتدائية كانت قبل تعرض الخلية الشمسية للاشعاع الالكتروني هي 0.96V ، 39mA/cm^2 ، 87.82% ، 24.42% . في حين انه كلما زادت كثافة العيوب الى ان تبلغ اقصاها عند القيمة 5.10^{15}cm^{-3} تتدهور قيم الخصائص الكهربائية لتبلغ $V_{oc} = 0.54\text{V}$ ، $J_{sc} = 3.43 \text{mA/cm}^2$ ، $FF = 65.15\%$ ، $\eta = 1.21\%$ ، بحيث نلاحظ ان كثافة تيار الدارة القصيرة و المردود الخلية هما الاكثر تأثراً، أما جهد الدارة المفتوحة ومعامل التعبئة لا يتأثران بشكل كبير. وهنا نستنتج ان كثافة التيار لها علاقة بمردود الخلية الشمسية.

5.III. تأثير سمك المنطقة Xp :

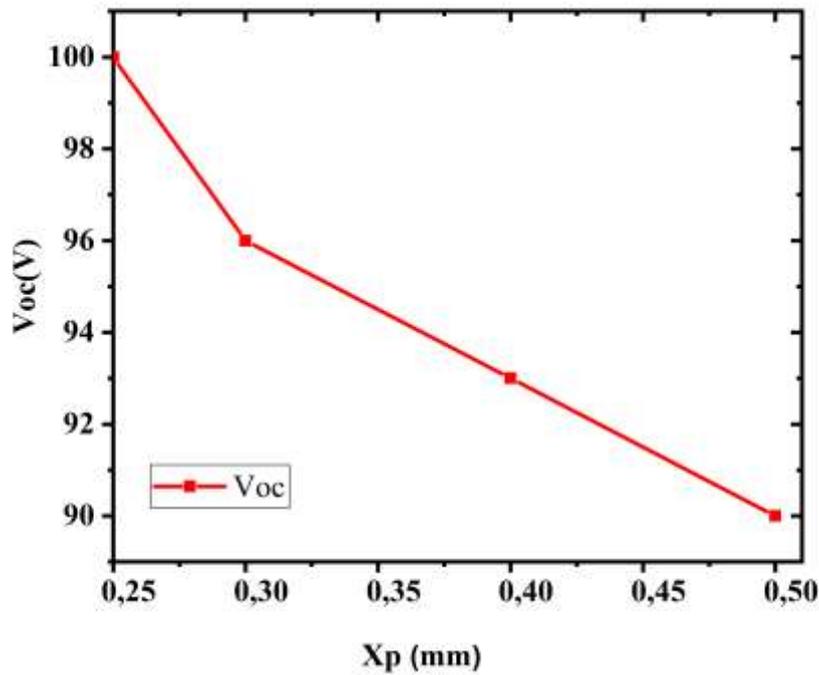
اولا سنقوم بادراج الخصائص المتعلقة بالخلية الشمسية المدروسة على أساس $\text{Si / GaAs / AlGaAs}$ والتي هي من نوع $p+/p+/n/n+$ في المحاكي SCAPS فيما يخص السمك الإجمالي للخلية الشمسية في هذه الحالة لن يبقى ثابت بل سيتغير في كل مره اثر تغيير سمك المنطقة Xp فيما يخص باقي الطبقات فستبقى محافظة على سمكها وتطعيمها السابق والذي اعتبرناه في الفقرة السابقة (انظر الفقرة السابقة).

لدراسة تأثير سمك المنطقة Xp على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية / $\text{AlGaAs / GaAs / Si}$ بعد ادراج مصائد الثقوب الناتجة عن الاشعاع الالكتروني في المحاكي SCAPS (انظر الجدول (3.III)). سناخذ الحالة الاكثر تدهورا من بين الحالات المدونة في الجدول (7.III) وذلك بغية معرفة ماهي قيمة سمك المنطقة Xp الافضل والاحسن للانقاص او لتخفيف من شدة الاشعاع الالكتروني. الجدول (7.III) يلخص نتائج تأثير سمك المنطقة Xp على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية المدروسة بعد تعرضها للاشعاع مع كثافة العيوب N_t تساوي 5.10^{15}cm^{-3} . الشكل (5-III) يوضح تأثير سمك المنطقة Xp على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للخلية الشمسية. الشكل (6-III) يوضح تأثير سمك المنطقة Xp على كثافة تيار

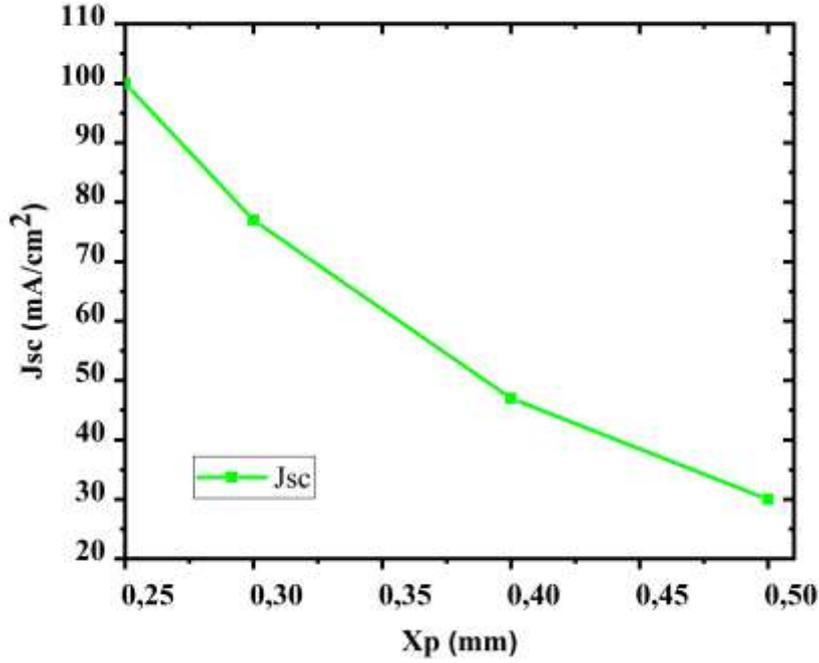
الدارة القصيرة J_{sc} للخلية الشمسية. الشكل (7-III) يوضح تأثير سمك المنطقة X_p على معامل التعبئة FF للخلية الشمسية. الشكل (8-III) يوضح تأثير سمك المنطقة X_p على المردود التحويلي الطاقوي η للخلية الشمسية.

الجدول 8-III : تأثير سمك المنطقة X_p على الخصائص الخلية الشمسية / AlGaAs / GaAs/ Si

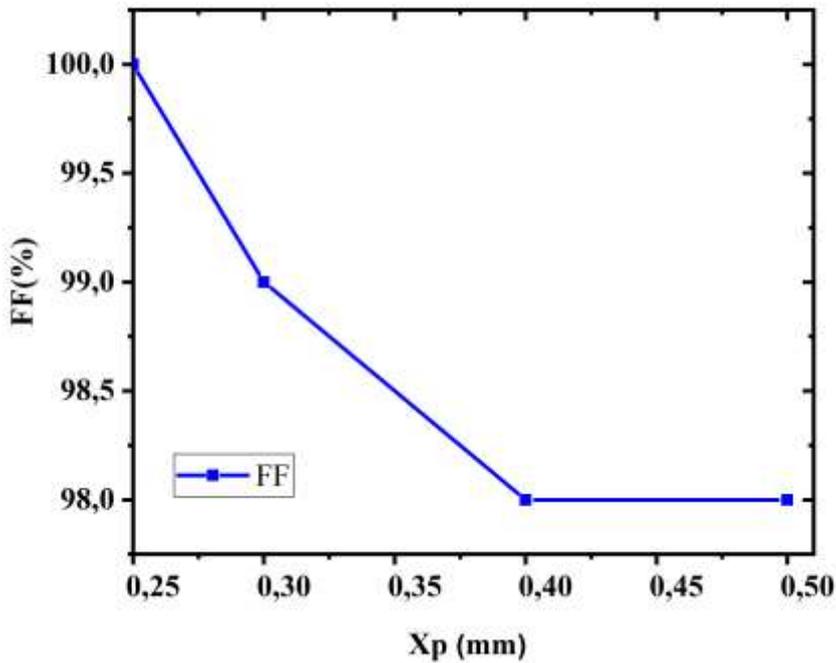
$\eta(\%)$	$FF(\%)$	$J_{sc}(mA/cm^2)$	$V_{oc}(V)$	سمك المنطقة $x_p(\mu m)$
1.21	65.15	3.43	0.54	0.5
1.77	65.64	6.38	0.57	0.4
3.05	66.07	10.5	0.60	0.3
4.05	66.36	13.56	0.61	0.25



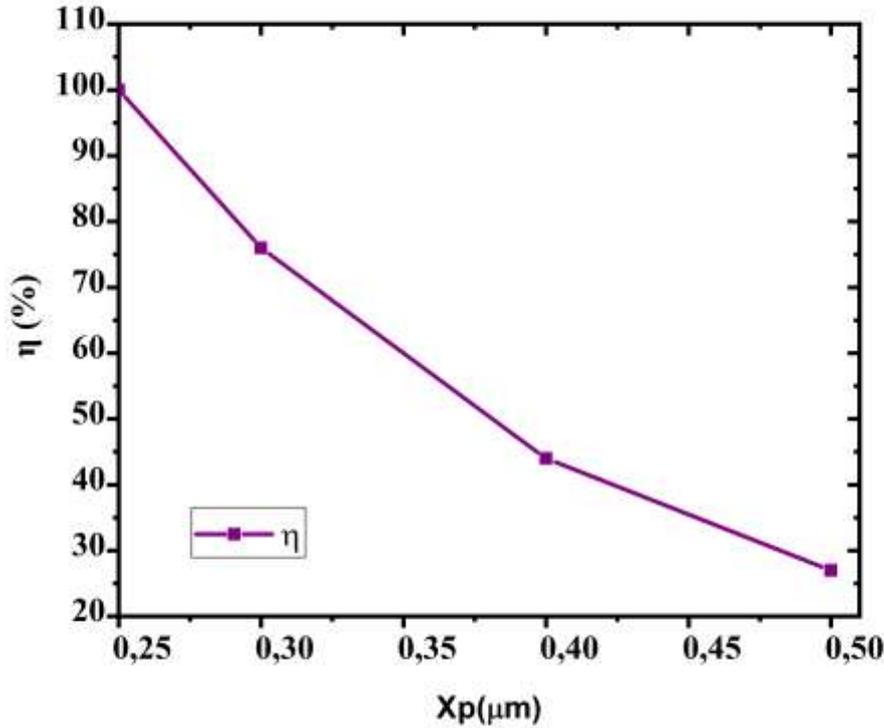
الشكل (6-III) : يوضح تأثير سمك المنطقة X_p على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للخلية الشمسية.



الشكل (III-7) : يوضح تأثير سمك المنطقة Xp على كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} للخلية الشمسية .



الشكل (III-8) : يوضح تأثير سمك المنطقة Xp على معامل التعبئة FF للخلية الشمسية .



الشكل (9-III) : يوضح تأثير سمك المنطقة X_p على مردود η للخلية الشمسية .

نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها في برنامج محاكاة SCAPS الموضحة في الجدول (8-III) أنه كلما تناقص سمك المنطقة x_p ابتداءً من القيمة $0.5 \mu m$ الى غاية القيمة $0.25 \mu m$ ، زادت قيم الخصائص الخارجية للخلية الشمسية المتمثلة في جهد الدارة المفتوحة V_{oc} وكثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} ومعامل التعبئة FF ومردود η حيث تتزايد قيمهم من 0.54 ، $3.43 mA/cm^2$ ، 65.15% ، 1.21% على التوالي الى غاية $0.61V$ ، 66.36% ، $13.56 mA/cm^2$ ، 4.05% على التوالي . نلاحظ أن كثافة التيار كانت الاكثر تاثيرا بحيث نلمس فيها تحسن كبير اذ ارتفعت قيمتها من $3.43 = mA/cm^2$ الى $13.56 mA/cm^2$ ، وهي تعتبر زيادة معتبرة

III . 6 . تأثير التطعيم N_A على سمك المنطقة X_p :

سنقوم بإدراج الخصائص المتعلقة بالخلية الشمسية المدروسة على أساس Si / GaAs/ AlGaAs والتي هي من نوع p+/p+/n/n+ في المحاكى SCAPS فيما يخص السمك الإجمالي للخلية

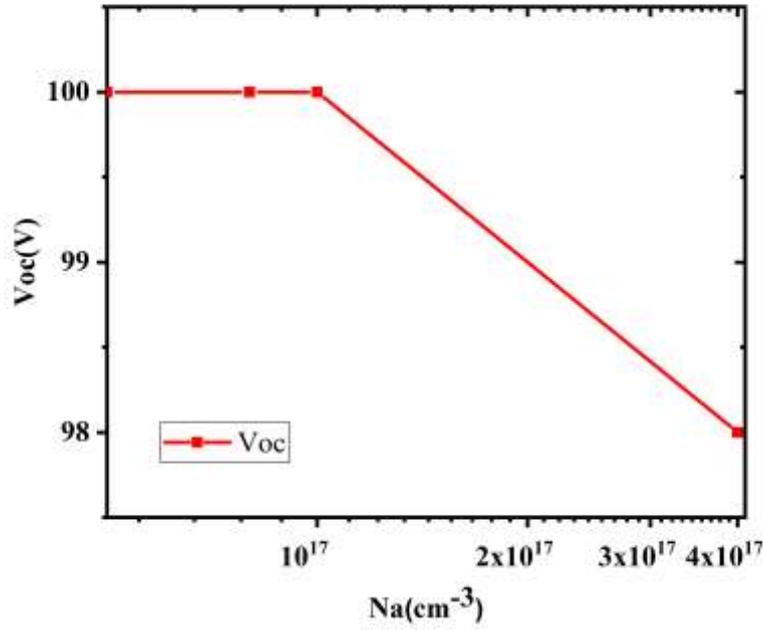
الشمسية في هذه الحالة لن يبقى ثابت بل سيتغير في كل مره اثرالتطعيم N_A على سمك المنطقة Xp

لدراسة تأثير التطعيم N_A على سمك المنطقة Xp على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية AlGaAs / GaAs/ Si بعد ادراج مصائد الثقوب الناتجة عن الاشعاع الالكتروني في المحاكي SCAPS (انظر الجدول(3.III)). سنأخذ الحالة الاكثر تدهورا من بين الحالات المدونة في الجدول (8-III) وذلك من أجل معرفة ماهي قيمة التطعيم N_A سمك المنطقة Xp الأفضل للانقاص او لتخفيف من شدة الاشعاع الالكتروني. الجدول (9-III) يمثل تأثير التطعيم N_A على سمك المنطقة Xp

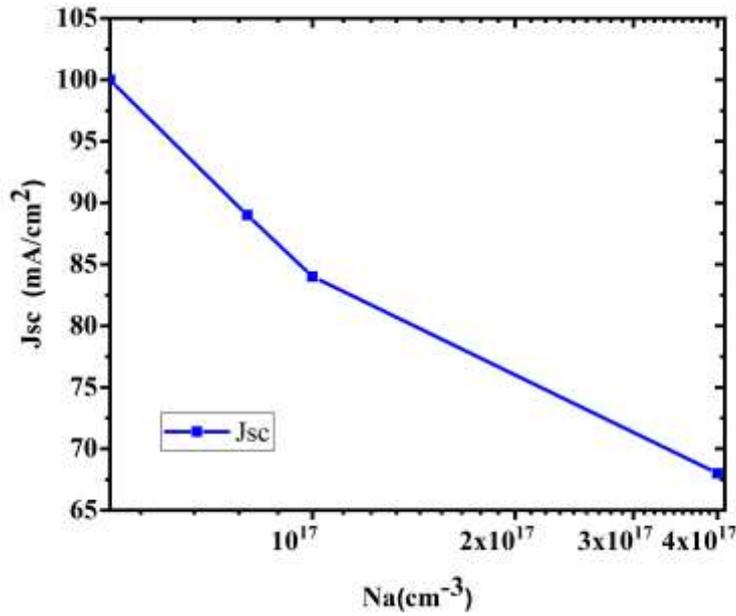
الشكل (9-III) يوضح تأثير التطعيم N_A على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للخلية الشمسية . الشكل (10-III) يوضح تأثير التطعيم N_A على كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} للخلية الشمسية . الشكل (11-III) يوضح تأثير التطعيم N_A على مردود η للخلية الشمسية .

الجدول 9-III: تأثير التطعيم N_A على سمك المنطقة Xp على الخصائص الخلية الشمسية .

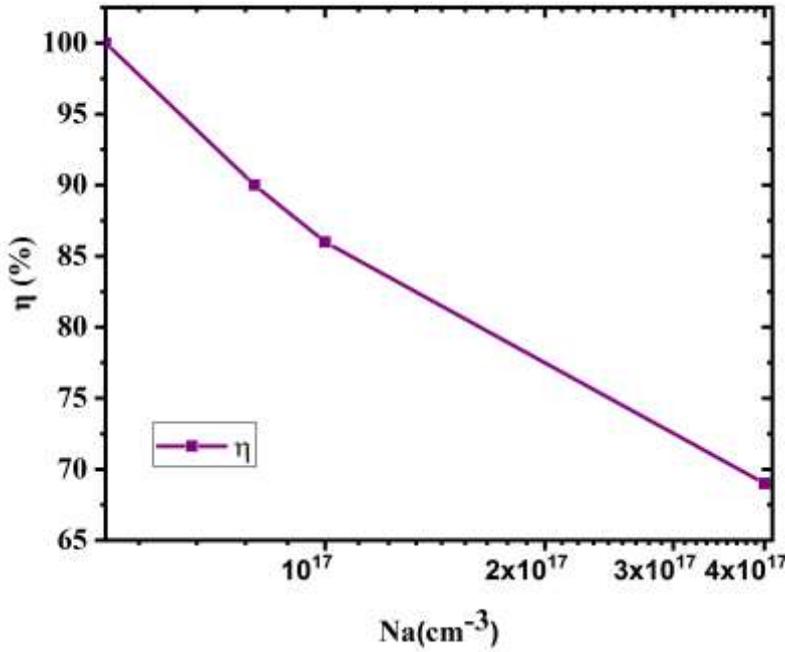
$\eta(\%)$	$J_{sc}(mA/cm^2)$	$V_{oc}(V)$	التطعيم $N_A(cm^{-3})$
1.21	3.43	0.54	4×10^{17}
1.32	4.98	0.56	10^{17}
1.38	5.21	0.56	8×10^{16}
1.55	5.88	0.57	5×10^{16}



الشكل (III-10) : يوضح تأثير التطعيم N_A على جهد الدارة المفتوحة V_{oc} للخلية الشمسية .



الشكل (III-11) : يوضح تأثير التطعيم N_A على كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} للخلية الشمسية .



الشكل (III-12) : يوضح تأثير التطعيم N_A على مردود η للخلية الشمسية .

نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها في برنامج محاكاة SCAPS الموضحة في الجدول (3-7) والأشكال (III-9)، (III-10)، (III-11)، كلما تناقص التطعيم N_A على سمك المنطقة x_p ابتداء من القيمة $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ الى غاية القيمة $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ، زادت قيم جهد الدارة المفتوحة V_{oc} وكثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} و المردود التحويل الطاقوي η للخلية الشمسية حيث تتزايد قيمهم بشكل ضئيل جدا من 0.54 V ، 3.43 mA/cm^2 ، 1.21% الى غاية 0.57 V ، 5.88 mA/cm^2 ، 1.55% .

III. 7. المقارنة بين الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية (AlGaAs / GaAs / Si):

من خلال النتائج المتحصل عليها نلاحظ ان الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية الغير متجانسة (AlGaAs / GaAs / Si) لاحظنا انخفاضا كبيرا المتمثل في جهد الدارة المفتوحة V_{oc} من القيمة 0.96 V الى القيمة 0.54 V و كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} من القيمة 39 mA/cm^2 الى القيمة 3.43 mA/cm^2 ومعامل التعبئة FF من القيمة 87.82% الى القيمة 65.15%

، ومردود التحويل η من القيمة 24.42% الى القيمة 1.21% مع زيادة كثافة العيوب Nt بحيث تأثر بشكل كبير على كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} ومردود الخلية η .

انخفاض وتدهور سمك المنطقة X_p من القيمة $0.5 \mu m$ الى القيمة $0.25 \mu m$ في حين لاحظنا زيادة في جهد الدارة المفتوحة V_{oc} من القيمة 0.54V الى القيمة 0.61V وكثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} من القيمة 3.43mA/cm^2 الى القيمة 13.56mA/cm^2 ومعامل التعبئة FF من القيمة 65.15% الى القيمة 66.36% ومردود التحويل η من القيمة 1.21% الى القيمة 4.05% وتكون الزيادة بشكل كبير في قيمة كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} .

تناقص التطعيم N_A على سمك المنطقة X_p في حين ان الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية تتزايد، حيث تكون الزيادة ضئيلة في كل من جهد الدارة المفتوحة V_{oc} من القيمة 0.54V الى القيمة 0.57V وكثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} من القيمة 3.43mA/cm^2 الى القيمة 5.88mA/cm^2 ومردود التحويل η من القيمة 1.21% الى القيمة 1.55%.

وفي الأخير نستنتج من خلال المقارنة بين الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية (AlGaAs / GaAs / Si) لاحظنا ان سمك المنطقة X_p هو الافضل حيث تبلغ قيمة الخصائص بقيمة اكبر سمكا

$$\text{للمنطقة } X_p : V_{oc} = 0.61 \text{V} , J_{sc} = 13.56 \text{mA/cm}^2 , FF = 66.36\% ,$$

$$\eta = 4.05\%$$

الخلاصة العامة

الخلاصة العامة :

قمنا بدراسة الخصائص الكهربائية للخلاية الشمسية غير المتجانسة من نوع (AlGaAs / GaAs / Si) ذات البنية $n^+/n/p^+/p^+$ تحت الإضاءة AM0 بواسطة برنامج محاكاة SCAPS . نظرا لتكاليف التجريب ، يميل الباحثون بشكل متزايد نحو أداة المحاكاة العددية كوسيلة تكميلية أساسية في التنبؤ بالنتائج وتحليلها وتفسيرها. يعد برنامج scaps أحد أدوات المحاكات الأكثر تطورا في دراسة الخلايا الشمسية. مع العلم أن الإشعاع يدخل مستويات عميقة في المنطقة النشطة للخلايا الشمسية. بعد الإطلاع على نتائج الدراسة للخلاية الشمسية AlGaAs / GaAs / Si نلاحظ أن الحالة الأولى تحت تأثير كثافة العيوب على الخصائص الكهربائية للخلاية الشمسية (جهد الدارة المفتوحة ، تيار الدارة القصيرة ، معامل التعبئة والمردود) تتناقص بازدياد كثافة العيوب N_t بحيث المردود هو أكثر تأثيرا من القية %24.42 الى القيمة %1.21.

الحالة الثانية وتتمثل في تأثير الخصائص الكهربائية للخلاية الشمسية بسلك المنطقة X_p في حين هذه الأخيرة تنخفض و تندهورأما الخصائص تتزايد وبشكل كبير في قيمة كثافة تيار الدارة القصيرة

J_{sc}

الحالة الثالثة وهي تناقص التطعيم N_A على سمك المنطقة X_p في حين ان الخصائص الكهربائية للخلاية الشمسية تتزايد بشكل ضئيل .

من النتائج ، رأينا تحسناً عاماً في الخصائص الخلايا الكهروضوئية مع انخفاض سمك المنطقة من

$0.5 \mu m$ حتى $0.25 \mu m$ ، خاصة في كثافة تيار الدارة القصيرة (J_{sc}) ، و كفاءة التحويل

الكهروضوئية η . تتحسن كثافة تيار الدارة القصيرة من $J_{sc} = 3.43 \text{ mA/cm}^2$ إلى $J_{sc} = 13.56$

mA/cm^2 وكفاءة التحويل الكهروضوئية تحسنت من %1.21 إلى %4.05 أخيرا.

المراجع

المراجع :

- [1] CH. Huang, Effects of Ga content on Cu(In,Ga)Se₂ solar cells studied by numerical modeling studied by numerical modeling. Journal of Physics and Chemistry of Solids 2008;**69** 330–334.
- [2] R. Hull, VA Charlottesville, USA. ChennupatiJagadish, Canberra, ACT,Australia. Richard M. Osgood, New York, NY, USA. Ju`rgenParisi, Oldenburg, Germany. Zhiming M. Wang, Chengdu, P.R. China , HighEfficiency Solar Cells Physics, Materials, and Devices, Springer Series in Materials Science Volume 190.
- [3] G, Adam. R, Modeling heterogeneous carbon nanotube networks for photovoltaic application using silvaco atlas software, Thesis Naval postgraduate school Monterey California. 2012.
- [4] Swami R. Solar cell. International Journal of Scientific and Research Publications 2012;2:1-5.
- [5] Kaushik A. Numerical Modeling of 3D Organic Solar Cells: San Diego State University;2010.
- [6] Nanduri SNR , Siddiki MK, Chaudhry GM, Alharthi YZ. Numerical simulation and performance optimization of perovskite solar cell. 2017 IEEE 44th Photovoltaic Specialist Conference(PVSC): IEEE;2017.p. 1018-21.
- [7] S. Boudour , I. Bouchama , N.Bouarissa , M. Hadjab , A study of CdTe solar cell using Ga-doped Mg_xZn_{1-x}O buffer/TCO layers: Simulation and performance analysis, Journal of Science: Advanced Materials and Devices, 4(20019) 111-115.
- [8] O. Nichiporuk, Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrières interdigités, Thèse Doctorat de l'institut national des sciences appliquées de Lyon (2005).
- [9] H. Mathieu, Physique des semiconducteur et des composants électroniques, 4ème éditions, Masson, Paris 1998.
- [10] A. Mahfoud, Modélisation des cellules solaires tandem à couche minces et à haut rendement, Thèse Doctorat, département d'électronique, Université Sétif, (2015).

- [11] A. Ricaud, Photopiles solaires : De la physique de conversion Photovoltaïques aux filières, Matériaux et Procédés, 1ère édition, Presses polytechniques et universitaires romandes, 500 pages, 1997.
- [12] S.M. Sze, Physics of semiconductors Devises, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2001.
- [13] H. J. Hovel, Semiconductors and semimetals, Vol. 11. Solar cell, Academic Press New York San Francisco London, 1975.
- [14] J. Lee, N. Lakshminarayan, S.K. Dhungel, K. Kim, J. Yi, « Optimization of fabrication process of high-efficiency and low-cost crystalline silicon solar cell for industrial applications », Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 256–261.
- [15] A. Helmaoui, A. Belghachi et B. Bellali, « Amélioration du rendement de collecte et la tension V_{co} d'une cellule solaire avec couche BSF », Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda (2007) 153 – 156.
- [16] N. Oleksiy, Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrière interdigités, Thèse EEA. Lyon : INSA de Lyon, 2005, 29 p.
- [17] A. Mouhoub, Procédés Technologiques Alternatifs de Réalisation des Photopiles
- [18] R. Kishore, S. N. Singh and B. K. Das, Screen Printed Titanium Oxide and PECVD Silicon Nitride as Antireflection Coating on silicon solar cells, Renewable Energy, Vol. 12, No. 2, pp. 131-135, 1997.
- [19] R. c. Knechtli, S. Member, IEEE, Robert Y. Loo, and G. S. Kamath, High-Efficiency GaAs Solar Cells, IEEE transactions on electron Devices, Vol. ED-31, NO. 5, May 1984.
- [20] S. P. Tobin, S. M. Vernon, S. J. Wojtczuk, C. Bajgar, M. M. Stutlacon, and T. M. Dixon, advances in high-efficiency GaAs solar cells, Presented at Twenty-first IEEE Photovoltaic Specialist Conference May 1990.
- [21] B. Burnett. 2002. The Basic Physics and Design of III-V Multijunction Solar Cells. National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO. [Online]. Available: photochemistry.epfl.ch/EDEY/NREL.pdf
- [22] N. Yastrebova, April 2007, High-efficiency multi-junction solar cells: Current status and future potential. University of Ottawa. Ottawa, Canada. [Online]. Available:

<http://sunlab.site.uottawa.ca/pdf/whitepapers/HiEfficMjSc-CurrStatus&FuturePotential.pdf>.

[23] B. Lakehal, Etude des propriétés électriques d'une photopile à base d'une structure Schottky, Mémoire de Magister, Université de Batna, 2009.

[24] M. Yamaguchi, Amano, 60Co γ -ray and electron irradiation damage of GaAs single crystals and solar cells, Chikara Journal of Applied Physics, Vol 54, 9, (1983) pp 5021.

[25] R. Knechtli, S. Member, R.Y. Loo, and G. S.Kamat, High-Efficiency GaAs Solar Cells, IEEE Transactions on electron devices, VOL. ED-31, NO. 5, MAY 1984

[26] M. Boutillier, Approche méthodologique de l'impact de l'environnement radiatif spatial sur les propriétés intrinsèques d'une diode laser, PH.D thèse, Université de Toulouse III-Paul Sabatier.

[27] S. S. Li, R. Y. Loo, Deep-level defects and numerical simulation of radiation damage in GaAs solar cells, Solar Cells, 31 (1991) 349-377.

[28] M. Yamaguchi, Radiation-resistant solar cells for space use, Solar Energy Materials & Solar Cells 68 (2001) 31-53.

[29] R. Loo et al, High energy proton radiation damage to (AlGa)As-GaAs solar cells, Contract NAS1-14727, Final Rep., June 1979.

[30] R.Y. Loo et al, Low energy proton radiation damage to (AlGa)As-GaAs solar cells, Contract NAS1-15443, Jan. 1979.

[31] R. Y. Loo et al, Medium energy proton radiation damage to (AlGa)As- GaAs solar cells, Contract NAS1-15926, IEEE, 1984.

[32] C. Kandilli and K. Ulgen, "Solar Illumination and Estimating Daylight Availability of Global Solar Irradiance", *Energy Sources*, **23**(9), 24-33 (2009).

[33] R. Willson and A. Mordvinov, "Secular total solar irradiance trend during solar cycles", *Geophys. Res. Lett.*, **30**(5), 21-23 (2003).

[34] M. J. O'Neill , A . J. McDaniel , P. J. George , M . F. Piszczor , D. L. Edwards, D. T. Hoppe, M. L. Eskenazi, M. M. Botke, P. A. Jaster, H. W. Brandhorst, " *Development of The Ultra-Light Stretched Lens Array* ", 29th IEEE PVSC , New Orleans,(2002).

[35] <https://www.pveducation.org/pvcdrom/welcome-to-pvcdrom/solar-cell-operation>

- [36] A. Moliton, *Electronique et optoelectronique organiques*: Springer, 2011.
- [37] A. Smets, et al., *Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems* 2016: UIT Cambridge.
- [38] R. Donald, Askeland. Pradeep P. Fulay. Wendelin J. Wright, *The Science and Engineering of Materials Sixth Edition*, CENGAGE Learning.
- [39] J.D.Torre, thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse (2000).
- [40] F. Boudjerad, Amélioration du rendement énergétique de cellules photovoltaïques en couches minces à base de CZT, mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2013
- [41] A. Niemegeers, M. Burgelman, S. Degrave, J. Verschraegen, K. Decock, SCAPS manual, Version 24 April 2012.
- [42] Y. Marouf, Modélisation des cellules solaires en InGaN en utilisant ATLAS SILVACO, Mémoire de Magister, Université Mohamed khaidr Biskra, (2015).
- [43] Gh. Azzouzi, Study of silicon solar cells performances using the impurity photovoltaic effect, these of Doctorate, Université Ferhat Abbas Setif, (2012).
- [44] J. Attia, *Electronics and Circuit Analysis using MATLAB*, Université Mentouri-Constantine, (2006).
- [45] J. Lavery, Quantum tunneling model of a P-N junction in silvaco, Thesis Naval postgraduate, School Monterey California, (2008).
- [46] F.D. Auret, A. Wilson, S. Goodman, G. Myburg, W. Meyer, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 90, 387–391, (1994)
- [47] H. Mathieu, H. Fanet, *Physique des semiconducteurs et des composants électroniques*, Dunod, Paris, (2009).
- [48] H. Mazouz, et al., Effect of electron irradiation fluence on the output parameters of GaAs solar cell, *International Journal of Hydrogen Energy* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.127>

الملخص:

في هذا العمل درسنا تأثير مصائد الثقوب على الخلية الشمسية من نوع (AlGaAs / GaAs / Si) ذات البنية $n^+ / n / p^+ / p^+$ تحت الإضاءة AM0 بواسطة برنامج محاكاة SCAPS. قدمت نتائج دراسة الخلية الشمسية (AlGaAs / p^+ -GaAs / n -GaAs / n -Si) ، لدراسة شملت تأثير كثافة العيوب وسمك المنطقة وكذلك التطعيم على سمك المنطقة الناتجة عن إشعاع الإلكترونات على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية ، ومن خلال المقارنة وجدنا ان تأثير سمك المنطقة على الخصائص الكهربائية جهد الدارة المفتوحة (V_{CO}) ، تيار الدائرة القصيرة (J_{SC}) ، معامل التعبئة (FF) ومردود التحويل الطاقوي (η) هو الأفضل وذلك لأنها الأكثر مقاومة لتأثير إشعاع الإلكترونات . كفاءة التحويل هو الوسيط الأكثر حساسية والأكثر تأثراً، في حين أن FF هو الأقل حساسية.

الكلمات المفتاحية: الخلايا الشمسية، غير المتجانسة، SCAPS ، الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية.

Abstract:

In this work, we study the effect of hole traps on the type solar cell (Si / GaAs / AlGaAs) structured $p^+ / p^+ / n / n^+$ under illumination AM0 by simulation software SCAPS solar cell study results (p^+ - AlGaAs / p^+ -GaAs / n -GaAs / n + -Si) , for a study that included the effect of defect density and area thickness, as well as grafting on the thickness of the area resulting from radiation of electrons on the electrical properties of a solar cell, by comparison , we found that the effect of the thickness of the area on the electrical characteristics of the open circuit voltage (V_{CO}) , short circuit current (J_{SC}) , fill factor (FF) , the energy conversion yield (η) , It is the best because it is the most resistant to the influence of electron radiation. The conversion efficiency is the most sensitive and most affected medium, while FF is the least sensitive.

Keywords : Solar cell ,Heterojunction, SCAPS ,Electrical properties of a solar cell.