

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة
قسم علوم مادة



مذكرة ماستر

ميدان علوم المادة
فرع فيزياء
فيزياء طاقة وطاقات المتجددة
رقم: أدخل رقم تسلسل المذكرة

إعداد الطالب:
شتيح غنية و شرقي ياسمينه
يوم: 28/09/2020

تأثير مصائد الالكترونات على الخلايا الشمسية غير المتجانسة

لجنة المناقشة:

مقرر	أ.محاضر ب جامعة محمد خيضر- بسكرة	لعياضي وداد
رئيسا	أ.محاضر ب جامعة محمد خيضر- بسكرة	بوذيب وهيبة
ممتحنا	أ.محاضر ب جامعة محمد خيضر- بسكرة	مسعي نادية

الإهداء

إلى الذي عانى الكثير لأجل تكويني ووضع على عاتقه أعباء تربيته بصبره ومثاليته، إلى الذي أفتخر به

وأعتز به دائما، إلى رمز التضحية والسند والحماية **أبي سندي**.

إلى التي عانت وعاشت أرق الليالي وذافت مرارة الصبر وسئمت طول الإنتظار لتقر عينها برويتها لي

وأنا أخرج إلى الوجود ثمرة هذا الجهد، إلى رمز الحنان والعطاء **أمي الغالية**.

إلى من جمعتني معهم أسمى المشاعر وأوثق الروابط، الذين شاركوني حزني وفرحي، إلى رمز الأنا

والتعاون **إخوتي وأقاربي**.

إلى **كل أساتذتي** الكرام والأفاضل الذين تدرستوا عندهم لكي أصل لهذه المرحلة.

إلى رفيقات الدرب ونسمات الفرح والعطاء.

إلى اللواتي قاسمنني مشواري الدراسي فكن لي نعم **الصديقات**.

إلى كل من نسيهم قلبي ... ولم ينسهم قلبي... ومن خط اسمه على خارطة دربي

أهدي لكم هذا العمل.

شكر وثناء

الحمد لله الذي يسر أمرنا ووفقنا في عملنا وحقق آماتينا، والصلاة والسلام على نبي الرحمة محمد

وآله وصحبه أجمعين.

نتقدم بالشكر الجزيل والعرفان الجميل إلى أساتذتنا المشرفة **لعياضي وداد** لما قدمته لنا من متابعة

ونصح وتوجيه ولم يدخر معنا جهداً أو عملاً طيلة مدة البحث.

كما نتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى كل من مد لنا يد العون والمساعدة من أساتذة وطلبة .

كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى أساتذتنا الكرام لجنة المناقشة لقبولهم مناقشة هذه المذكرة وإفادتنا

بتصحيحاتهم وإثراننا بتوجيهاتهم القيمة.

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

قائمة الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	الجدول
20	يوضح النطاق الممنوع، تركيز الحاملات الذاتية، الكثافة الفعالة في نطاق التوصيل ونطاق التكافؤ عند $T=300^{\circ}K$ لأنصاف نواقل مختلفة .	1.I
55	إعدادات إدخال المواد في برنامج المحاكاة SCAPS.	1.III
56	التطعيم والسبك بالنسبة للخلايا الثلاث (p+/n/n+) بسبك إجمالي 5 μm .	2.III
56	خصائص العيوب المستعملة في هذا العمل و المقاسة تجريبيا .	3.III
56	خصائص الخلية الخارجية قبل التعرض للإشعاع.	4.III
57	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على خصائص الخروج للخلية الشمسية AlGaAs/GaAs .	5.III
60	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على خصائص الخروج للخلية الشمسية GaAs /Si .	6.III
63	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على خصائص الخروج للخلية الشمسية GaAs/Ge	7.III

قائمة الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
17	نصف ناقل نقي، (أ) مخطط مستوي الطاقة ، (ب) كثافة الحالات الطاقية، (ج) توزيع فيرمي ديراك، (د) كثافة الطاقية للحاملات .	1. I
18	نصف ناقل مطعم، (أ) مخطط مستوي الطاقة ، (ب) كثافة الحالات الطاقية، (ج) توزيع فيرمي ديراك، (د) كثافة الطاقية للحاملات للإلكترونات n و الثقوب p .	2. I
19	نصف ناقل نوع n .	3. I
19	نصف ناقل نوع p .	4. I
21	أنصاف النواقل أي ذات النطاق الممنوع غير المباشر .	5. I
22	أنواع الإلتحام .	6. I
24	مراكز الإلتحام .	7. I
25	رسم يوضح خصائص I-V .	8. I
28	وصلة PN في حالة التوازن .	9. I
28	إستقطاب مباشر للوصلة .	10. I
29	إستقطاب عكسي للوصلة .	11. I
31	أطياف شمسية AM0 و AM1.5G (كلي) و AM1.5SD (مباشر)، تم الحصول عليها بواسطة معيار ASTM .	1. II
33	مصائد الناقل ومستويات الطاقة .	2. II
34	تمثيل المقطع العرضي، (أ) عكس ذلك، (ب) محايد، (ج) الشحن مع مركز جاذب .	3. II
35	بنية السيليكون والجرمانيوم .	4. II
36	بنية النطاق الطاقية الجرمانيوم .	5. II

36	بنية النطاق الطاقى لسليكون.	6.II
37	الشكل البلوري لزرنيخ الغاليوم GaAs.	7.II
38	النطاق الطاقى لزرنيخ الغاليوم GaAs.	8.II
40	هيكل GaAs، يتكون من شبكتين فرعيتين مكعبتين مع وجوه مركزية، يقابلها ربع القطر الكبير للمكعب، ويحتلها أحدها الأيون As والآخر بواسطة (Al, Ga).	9.II
40	بنية نطاق الطاقة لـ $Al_x Ga_{1-x} As$ من أجل الحد الأدنى المهم من نطاق التوصيل والحد الأقصى من نطاق التكافؤ أ- من أجل $x < 0.41$ ب- من أجل $x > 0.45$.	10.II
41	مخطط نطاق الطاقة للوصلة غير المتجانسة N/P في حالة التوازن الترموديناميكي.	11.II
43	الرسوم التخطيطية لتداخل النطاق في الوصلة غير المتجانسة.	12.II
46	لوحة بدء تشغيل SCAPS.	1.III
47	تحديد المشكلة.	2.III
49	نافذة تصميم الجهاز.	3.III
49	نقطة التشغيل.	4.III
51	إضافة العيوب.	5.III
52	لوحة خصائص العيب.	6.III
54	لوحة عرض لمنحنيات IV تحت إضاءة.	7.III
55	بنية الخلايا الشمسية ($AlGaAs/GaAs$, $GaAs/Si$), $GaAs/Ge$.	8.III
58	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على جهد الدارة المفتوحة (V_{oc}) للخلية الشمسية $AlGaAs/GaAs$.	9.III
59	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على تيار الدارة القصيرة (J_{sc}) للخلية الشمسية $AlGaAs/GaAs$.	10.III
59	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على معامل الشكل (FF) للخلية الشمسية $AlGaAs/GaAs$.	11.III

60	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على المردود (η) للخلية الشمسية AlGaAs/GaAs.	12.III
61	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على جهد الدارة المفتوحة (V_{oc}) للخلية الشمسية GaAs/Si.	13.III
62	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على تيار الدارة القصيرة (J_{sc}) للخلية الشمسية GaAs/Si.	14.III
62	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على معامل الشكل (FF) للخلية الشمسية GaAs/Si.	15.III
63	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على المردود (η) للخلية الشمسية GaAs/Si.	16.III
64	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على جهد الدارة المفتوحة (V_{oc}) للخلية الشمسية GaAs/Ge.	17.III
65	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على تيار الدارة القصيرة (J_{sc}) للخلية الشمسية GaAs/Ge.	18.III
65	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على معامل الشكل (FF) للخلية الشمسية GaAs/Ge.	19.III
66	تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على المردود (η) للخلية الشمسية GaAs/Ge.	20.III

فهرس المحتويات

	الإهداء
	شكر وثناء
I	قائمة الجداول
II	قائمة الأشكال
V	فهرس المحتويات
13	مقدمة عامة
	الفصل الأول
	مدخل إلى أنصاف النواقل
15	1.I مقدمة
15	2.I تعريف أنصاف النواقل
16	3.I أنواع أنصاف النواقل
16	1.3.I أنصاف النواقل النقية
17	2.3.I أنصاف النواقل المطعمة (المشوبة)
18	1.2.3.I نصف ناقل نوع n
19	2.2.3.I نصف ناقل نوع p
19	4.I تركيز الحاملات الجوهرية
21	5.I النطاق المباشر في نصف ناقل
21	6.I النطاق غير المباشر في نصف ناقل
22	7. I الإلتحام والتوليد
22	1.7. I التوليد
22	2.7. I الإلتحام
23	1.2.7.I إلتحام مباشر
23	2.7. I 2 إلتحام غير المباشر (عن طريق مصيدة)
25	3.2.7. I Auger إلتحام
25	4.2.7.I إلتحام السطحي
25	8.I خصائص الكهربائية للخلايا الشمسية I-V

26	1.8. I تيار الدارة القصيرة I_{sc}
26	2.8. I جهدة الدارة المفتوحة Voc
27	3.8. I معامل الشكل FF
27	4.8. I مردود التحويل η
27	9.I الوصلة PN
29	1.9. I إستقطاب مباشر للوصلة
30	2.9. I إستقطاب غير مباشر للوصلة

الفصل الثاني الوصلة غير المتجانسة

31	1.II مقدمة
32	2.II الإشعاع الشمسي
33	3.II تعريف مصائد الإلكترون
33	4.II خصائص المصائد
33	1. 4. II نوع المصائد ومستوي الطاقة
34	2.4.II إلتقاط المقطع العرضي
35	3.4. II كثافة المصائد
35	5.II الشكل البلوري لسليكون و الجيرمانيوم
36	1.5.II بنية النطاق الطاقى لسليكون و الجيرمانيوم
38	6. II الشكل البلوري لزرنيخ الغاليوم (GaAs)
39	7. II الشكل البلوري لسبيكة زرنيخ ألمنيوم غاليوم (AlGaAs)
42	8.II الوصلة غير المتجانسة

الفصل الثالث محاكاة تأثير مصائد الإلكترونات على الخلايا الشمسية غير المتجانسة

44	1.III مقدمة
46	2.III برمجية المحاكاة SCAPS
46	1.2.III نظرة عامة وطريقة المحاكاة
47	1.1.2.III إطلاق SCAPS
48	2.1.2.III لوحة الرئيسية أو لوحة العمل (الأساسيات)

49	III. 3.1.2 اختيار الخصائص للمحاكاة
49	III. 4.1.2 تحديد المشكلة
51	III. 5.1.2 تحديد نقطة العمل
52	III. 6.1.2 إضافة العيوب
55	III. 2.2 بدء الحساب
55	III. 1.2.2 المنحنيات (IV) تحت الإضاءة
56	III. 3. نتائج محاكاة تأثير مصائد الإلكترونات على الخلايا الشمسية غير المتجانسة
56	III. 1.3. بنية الخلايا الشمسية (AlGaAs/GaAs) ، (GaAs/Si) ، (GaAs/Ge) المدروسة
58	III. 2.3. نتائج محاكاة الخلايا الشمسية المدروسة قبل التعرض للاشعاع
59	III. 3.3. تأثير مصائد الإلكترونات على الخلايا الشمسية AlGaAs/GaAs
62	III. 4.3. تأثير مصائد الإلكترونات على الخلية الشمسية GaAs/Si
65	III. 5.3. تأثير مصائد الإلكترونات على الخلية الشمسية GaAs/Ge
66	III. 6.3. المقارنة بين الخلايا الثلاث (GaAs/Ge، GaAs/Si، AlGaAs/GaAs)
68	الخلاصة العامة
70	المراجع
	الملخص

مقدمة عامة

مقدمة عامة

مستقبل الطاقة العالمي هو أحد القضايا الرئيسية والموضوعية التي تطرح على المستوى الدولي. في الواقع ، تقع الطاقة في قلب جميع الأنشطة البشرية ، ولكن المشاكل لإدارة الطاقة في العالم متشعبة .أولا هناك الخطر من النشاط الإشعاعي على حياة الإنسان والذي يسبب انفجارات في محطات توليد الطاقة (الأسلحة النووية) مثل حادث فوكوشيما في اليابان في مارس 2011. بالإضافة إلى ذلك هناك آثار ضارة مرتبطة بالبيئة ناتجة عن صعوبة التخلص من النفايات النووية وإطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 الغاز الناجم من خلال استخدام الوقود الأحفوري مثل النفط والغاز الطبيعي [1]. علاوة على ذلك ، فإن احتياطات الوقود الأحفوري لا تنضب، هذه المضاعفات تعطي العوامل سببا لإهتمام في تطوير واستخدام الطاقات المتجددة في هذه الأشكال المختلفة: الكهروضوئية والرياح و الحرارة [1]. أصبحت المحاكاة العددية الآن أداة أساسية للتنبؤ وتحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد. غالبًا ما كان من الصعب حلها تجريبيا ، يمكن أن تحل المحاكاة محل التجربة .لأن التجربة مكلفة للغاية أو حتى غير عملية في المختبرات [2]. في هذا السياق ، تستخدم مختبرات الخلايا الشمسية برامج المحاكاة مثل SCAPS، هذا البرنامج عبارة عن محاكاة خلية شمسية ذات بعد واحد برنامج تم تطويره في قسم الإلكترونيات ونظم المعلومات (ELIS) في جامعة جنت ، بلجيكا. البرنامج متاح مجانًا لمجتمع البحوث الخلايا الكهروضوئية (المؤسسات ومعاهد البحث)، وهي تعمل على الكمبيوتر الشخصي [3]. الهدف من هذا العمل هو استخدام برنامج SCAPS لدراسة تأثير مصائد الإلكترونات على ثلاث أنواع من الخلايا الشمسية ذات الوصلات غير المتجانسة والمتمثلة في (AIGaAs-GaAs)، (GaAs-Ge)، (GaAs-Si) ثم إجراء مقارنة بينهم. يتم إجراء هذه المقارنة على أساس الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية (I-V) و المردود ومعامل الشكل .

في هذا العمل سوف نتطرق أولا إلى مفاهيم عامة حول أنصاف النواقل وهذا ما سوف ندرجه في الفصل الأول إضافة إلى ذلك سوف نعرض بنية الخلايا الشمسية ذات الوصلات غير المتجانسة في الفصل الثاني وهنا سنسلط الضوء على الخلايا الشمسية المدروسة في هذا العمل المنجز وأخيرا يعرض الفصل الثالث محاكاة تأثير مصائد الإلكترونات مخصص لوصف وتطبيق برنامج محاكاة SCAPS ويقدم وصفا مفصلا للظروف والخلايا المدروسة والنتائج الأساسية والتفسيرات في هذه الدراسة.

الفصل الأول :

مدخل إلى أنصاف النواقل

1.I مقدمة:

إن أغلب الأجهزة الإلكترونية الحديثة تعتمد في عملها على مواد ذات خصائص فيزيائية وكيميائية مميزة ألا وهي المواد نصف الناقلة التي تمتلك خواص العوازل عند درجات الحرارة الواطئة، كما لها القدرة على النقل الكهربائي عند ارتفاع درجة حرارتها إلى حد معين [4]. حيث بدأت بحوث مكثفة وموسعة للتعرف على الخواص البنيوية، الضوئية وكذلك الكهربائية لهذه المواد وإمكانية الاستفادة القصوى منها عمليا، حيث أثمرت هذه البحوث عن تصنيع المقاومات عام 1886، الديود والترانزستور سنة 1964 [5]. ومن ثم الخلايا الشمسية وكذلك تصنيع الدارات الإلكترونية المتكاملة والتي تعتبر الخلفية الحديثة للترانزستور، وبهذا صار حقل فيزياء أنصاف النواقل من أهم حقول الفيزياء التطبيقية والذي مازال يتطور ويتقدم بخطوات متسارعة حتى دخل إلى أغلب مجالات الحياة اليومية [6]. ومؤخرا أصبحت تستخدم وبشكل متزايد في صناعة الخلايا الشمسية، حيث تم صنع أول خلية شمسية من مادة السيليكون سنة 1954، لتصبح بذلك أنصاف النواقل من أهم المواد المستخدمة لتصنيع الأجهزة الإلكترونية والإلكتروضوئية. ومازال المستقبل ينذر بالإستعانة بهذه المواد أكثر فأكثر [7]. في هذا الفصل سيتم التطرق إلى أنصاف النواقل و سنشرح فيه أهم المعارف التي يتوجب معرفتها حول أنصاف النواقل من تعاريف وأنواع وخصائص وغيرها.

2.I تعريف أنصاف النواقل:

إن أنصاف النواقل هي مادة تقع بين الناقل والعازل. أنصاف النواقل في الحالة النقية (الجوهرية) ليست ناقل جيد ولا عازل جيد. العناصر الفريدة الأكثر استخدامًا أنصاف النواقل هي السيليكون والجرمانيوم والكربون [8]. أنصاف النواقل هي عناصر مفردة وتتميز بالذرات أربعة إلكترونات تكافؤ [8]. في أنصاف النواقل تختلف المقاومة في الاتجاه يكون معكوس درجة الحرارة بشكل عام بين $10^{-3} \Omega cm$ و $10^7 \Omega cm$ [9]. يوجد في أنصاف النواقل فجوة صغيرة إلى حد ما، مما يسمح بمرور الناقلات نطاق التوصيل ببساطة من خلال طاقة التحريك الحراري [10]. تحظى المواد النصف ناقلة في الوقت الراهن بأهمية بالغة وذلك لإستخدامها في تصنيع معظم الأجهزة الإلكترونية الحديثة. هناك عدة طرق لتحديد أنصاف النواقل، فتاريخيا تم إستخدام مصطلح أنصاف النواقل للدلالة على المواد ذات الناقلية أعلى بكثير من العوازل، ولكنها أقل بكثير من المعادن مقاسه في درجة حرارة الغرفة هذا التعريف غير كامل، ما يميز حقا المعادن من أنصاف النواقل هو إرتباط الناقلية بدرجة الحرارة، في حين أن المعادن تحتفظ بناقليتها حتى في درجات الحرارة المنخفضة [7]، بينما تتحول أنصاف النواقل إلى عوازل في درجات الحرارة المنخفضة جدا ويرتبط

هذا التصنيف يرتباط مباشرة بوجود فجوة بين الحالات المشغولة والخالية، أي فجوة الطاقة في أنصاف النواقل والعوازل [4].

3.I أنواع أنصاف النواقل:

1.3.I أنصاف النواقل النقية:

وهي عناصر المجموعة الرابعة (IV) من الجدول الدوري، حيث يعتبر كلاً من السيليكون والجرمانيوم من أهمها، وتعرف على أنها أنصاف نواقل ذاتية وخالية من الشوائب وكذلك خالية من العيوب البلورية [11]، حيث تكون فيها حزمة التكافؤ مملوءة كلياً بالإلكترونات بينما تكون حزمة النقل فارغة كلياً منها وذلك عند درجة الحرارة الصفر المطلق 0°K ، ولهذا تعد المواد النصف ناقلة عازلة عند هذه الدرجة [7]، وعند رفع درجة حرارة هذه المواد فإن بعض إلكترونات حزمة التكافؤ تكتسب طاقة تنتقل بها إلى حزمة النقل مخترقة بذلك فجوة الطاقة الممنوعة تاركة ورائها فجوات مساوية إلى عدد الإلكترونات المغادرة [7]، يقع مستوى فيرمي لهذا النوع من أنصاف النواقل في منتصف فجوة الطاقة الممنوعة عند درجة الحرارة الصفر المطلق كما هو موضح في المعادلة التالية [12].

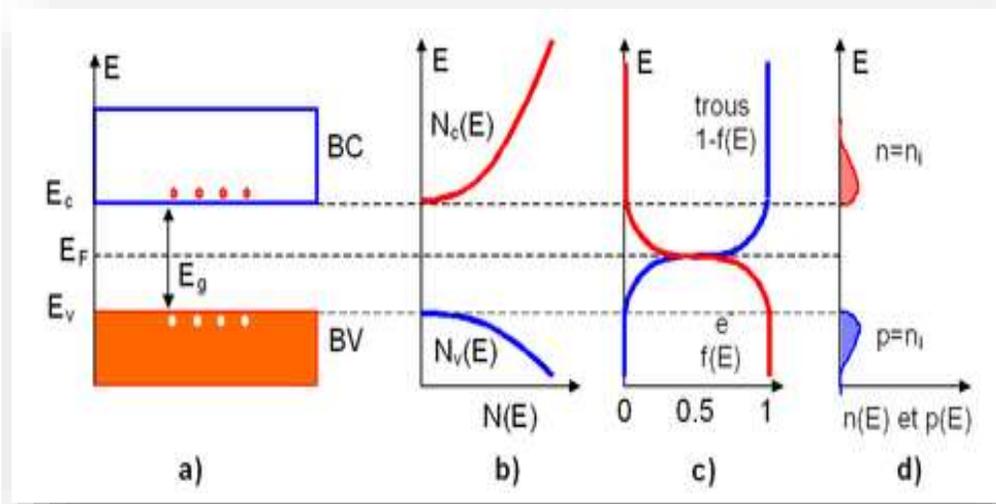
حيث :

$$E_f = (E_c + E_v)/2 \quad (1. I)$$

حيث :

E_f : طاقة مستوى فيرمي , E_c : طاقة مستوى النقل و E_v : طاقة مستوى التكافؤ.

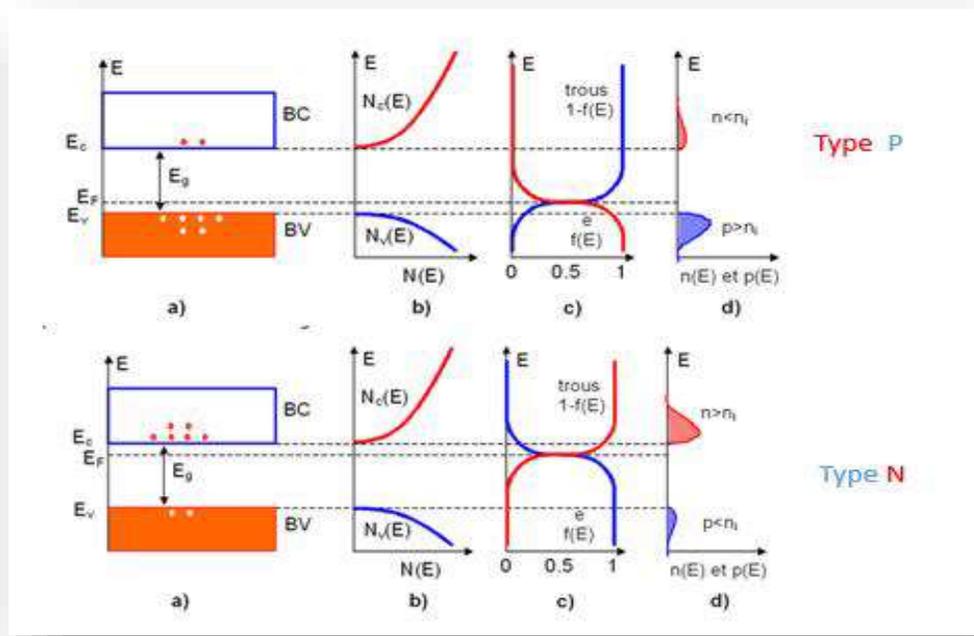
ويجدر الإشارة هنا أن مستوى فيرمي في فيزياء المواد المكثفة يمثل أعلى مستوى طاقة يشغلها الإلكترون عند درجة الصفر المطلق (أي درجة حرارة صفر كلفن)، أي إستحالة وجود إلكترون فوق مستوى فيرمي . لكن إرتفاع درجة الحرارة يعود بطاقة حرارية للإلكترون تساعد على تجاوز خط فيرمي وكلما زادت الحرارة زادت الإلكترونات المتخطية لخط فيرمي. ويقال أن نصف ناقل جوهري إذا كان نقي في هذه الحالة يكون عدد الإلكترونات في نطاق التوصيل مساوي لعدد الثقوب في نطاق التكافؤ. كما هو موضح في الشكل (1. I).



الشكل I. 1: نصف ناقل نقي، (أ) مخطط مستوي الطاقة ، (ب) كثافة الحالات الطاقية ، (ج) توزيع فيرمي ديراك ، (د) كثافة الطاقة للحاملات [13].

I. 2.3 أنصاف النواقل المطعمة (المشوبة):

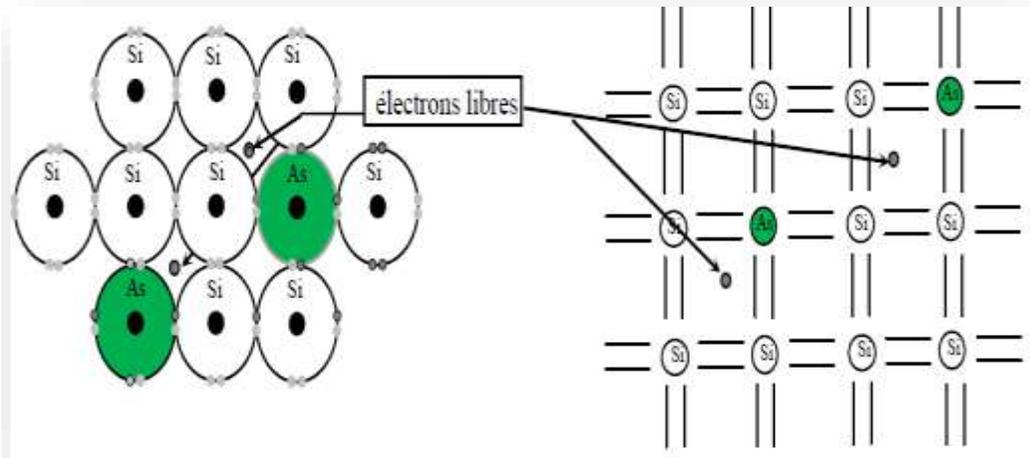
وهي أنصاف نواقل لا ذاتية، حيث تنتج عند إضافة شوائب إلى المادة النصف الناقلة النقية وبنسب قليلة ومحدودة عن طريق عملية التطعيم قصد تعديل بعض خواصها الكهربائي [11] ، إذ تعمل هذه الشوائب على خلق مستويات طاقة موضعية جديدة في الفجوة الممنوعة لنصف الناقل النقي [14]، هذه العملية تؤدي إلى زيادة نوع واحد من حاملات الشحنة " إلكترون -ثقب "، وذلك حسب نوع الشائبة [15]. تنتج عن عملية التطعيم ظهور نوعين من أنصاف النواقل المطعمة. كما هو موضح عبارة عن نصف ناقل مطعم في الشكل (2. I).



الشكل 2.I: نصف ناقل مطعم، (أ) مخطط مستوي الطاقة، (ب) كثافة الحالات الطاقية، (ج) توزيع فيرمي ديراك، (د) كثافة الطاقية للحاملات لإلكترونات n و الثقوب p [13].

I 1.2.3. نصف ناقل نوع n :

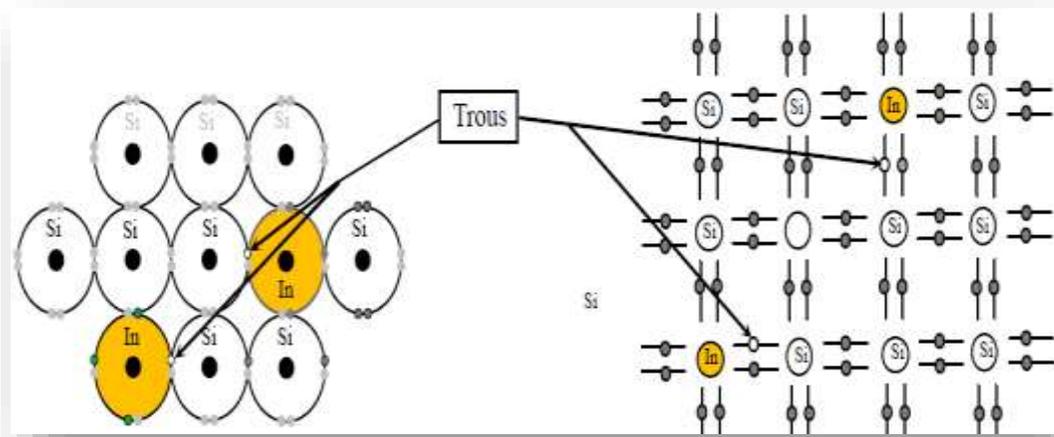
ففي النوع n تكون حاملات الشحنة الغالبة هي الإلكترونات أما حاملات الشحنة الأقلية هي الثقوب، ويتم الحصول على هذا النوع بإضافة شوائب مانحة خماسية التكافؤ "مثل As الأرسنيك، أو P الفسفور أو الأنتيموان Sb إلى نصف الناقل النقي" مثل Si " تكون في هذه الحالة مستويات الشائبة والتي تدعى بالمستويات المانحة قريبة من حزمة النقل لأن مستوى فيرمي يزحف مقتربا منها [11]. يوضح الشكل (3. I) نصف ناقل مطعم نوع n .



الشكل I 3: نصف ناقل نوع n [16].

2.2.3.I نصف ناقل نوع p :

إذا أدخلنا ذرة شوائب بها ثلاثة إلكترونات تكافؤ (بورون الألومنيوم أو الجاليوم). يمكن لهذه الذرة أن تشبع ثلاثة روابط فقط. هكذا رابطة ذرة تفنقر وتتوافق مع مستوى الطاقة الموجود فوق نطاق التكافؤ المسمى مستوى القبول. يقال أنها أنصاف النواقل من النوع p [17]. يوضح الشكل (I 4) نصف ناقل مطعم نوع p.



الشكل I 4: نصف ناقل نوع p [16].

4.I تركيز الحاملات الجوهرية :

في شرط التوازن يكون لأنصاف النواقل الجوهرية عدد متساوي من الإلكترونات n و الثقوب p التي تساوي في النهاية التركيز الجوهرية n_i [18]. وفق المعادلة:

$$n_i = n = p \quad (2. I)$$

تركيز الحاملات الحركية لها شكل دالي مع عرض النطاق الممنوع E_g أنظر الجدول (1. I) محسوبة بالنسبة للطاقة الحرارية kT . بالنسبة لقيمة صغيرة ل $(kT \ll E_g)$ تكون n_i صغيرة جدا العلاقة تعطى كمايلي [19]:

$$n_i = AT^{1.5} \exp \left[-\frac{E_g}{kT} \right] \quad (3. I)$$

حيث T : درجة الحرارة بالكلفن ب $^{\circ}K$.

E_g : عرض النطاق الممنوع ب الكترون eV.

K : ثابت بولتزمان $(J/^{\circ}K) K=1.38 \cdot 10^{-23}$ أو $K=8.62 \cdot 10^{-5}$ eV

A : هو ثابت يتعلق بالمادة ويعطى بالعلاقة:

$$A = \frac{2}{h} (2\pi m_0 k)^{3/2} \left(\frac{m_n^* m_p^*}{m_0 m_0} \right)^{3/4} \quad (4. I)$$

m_0 : كتلة الإلكترون.

m_n^* : الكتلة الفعالة في لإلكترون في المادة.

m_p^* : الكتلة الفعالة لثقب في المادة.

h : ثابت بلانك $(h=6.62 \cdot 10^{-34})$ eV*s $4.14 \cdot 10^{15}$

جدول 1. I: يوضح النطاق الممنوع، تركيز الحاملات الذاتية، الكثافة الفعالة في نطاق التوصيل

ونطاق التكافؤ عند $T=300^{\circ}K$ لأنصاف نواقل مختلفة [20].

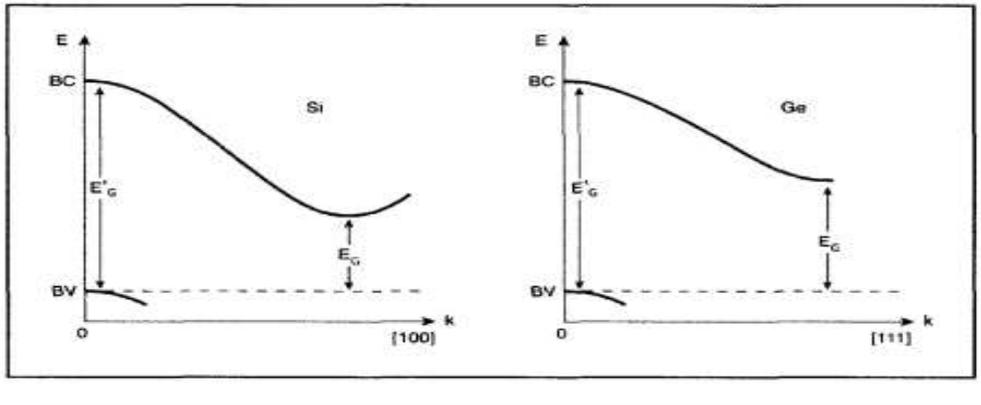
	E_g	n_i	N_c	N_v
InSb	0.18	1.6×10^{16}	-	-
InAs	0.36	8.6×10^{14}	-	-
Ge	0.67	2.4×10^{13}	1.04×10^{19}	1.6×10^{18}
Si	1.124	1.0×10^{10}	7.28×10^{19}	1.6×10^{19}
GaAs	1.43	1.8×10^6	4.35×10^{17}	1.6×10^{18}
GaP	2.26	2.7×10^0	-	-
GaN	3.3	$\ll 1$	-	-

5.I النطاق المباشر في نصف ناقل :

النطاق طاقي المباشر أي أن الحد الأدنى لنطاق التوصيل والحد الأقصى لنطاق التكافؤ موجودان في نفس النقطة في منطقة بريلوان. في أنصاف النواقل يكون النطاق الممنوع مباشر في منطقة بريلوان وفي بعض الأحيان يكون النطاق الممنوع مباشر عند حافة منطقة بريلوان [20].

6.I النطاق غير المباشر في نصف ناقل :

نصف ناقل ذو نطاق طاقي غير مباشر أي أن حافة الحد الأقصى لنطاق التكافؤ والحد الأدنى لنطاق التوصيل ليس في نقطة واحدة من منطقة بريلوان [21].



الشكل 5. I: أنصاف النواقل اي ذات النطاق الممنوع غير المباشر [21].

7. I الإلتحام والتوليد :

1.7. I التوليد :

يتم إنتاج الإلكترونات و الثقوب من خلال العمليات التي يمكن أن توفر الحد الأدنى من طاقة التوليد E_G لزوج (إلكترون - ثقب)، حيث يقوم الإلكترون أو الثقب مع طاقة حركية كافية بالقفز من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل وبالتبادل، مما يؤدي إلى توليد إلكترون و ثقب. يمكن إجراء نفس العملية لإثارة إلكترون من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل من خلال إهتزاز الشبكة التي توفر الطاقة أو عن طريق امتصاص فوتون [19].

2.7. I الإلتحام :

يتم تعريف الإلتحام على أنه الآلية العكسية للتوليد. تشارك فقدان الطاقة تحتفي ناقلات الزائدة عن طريق إستعادة توازنها الديناميكي الحراري. يعيد نصف الناقل المضطرب توازنه الديناميكي الحراري من خلاله [22]. عندما

يحدث الإلتحام يتوقف الإلكترون والنقبة عن كونهما ناقلين حريين. خلال هذه الظاهرة ينتقل الإلكترون من حالة طاقة أعلى وبهذا يجب أن يطلق كمية من الطاقة تساوي الفرق بين قيمتها الابتدائية والحالة النهائية يمكن تصنيف هذه الطاقة إلى ثلاثة أنماط: إشعاعية ينبعث منها فوتون (ضوء)، غير إشعاعي أو إنبعاث لفوتون (حرارة) أو Auger حيث يتم نقل الطاقة الحركية إلى إلكترون آخر حر أو ثقب [19]. يمكن أن يوصف الإلتحام على النحو التالي:

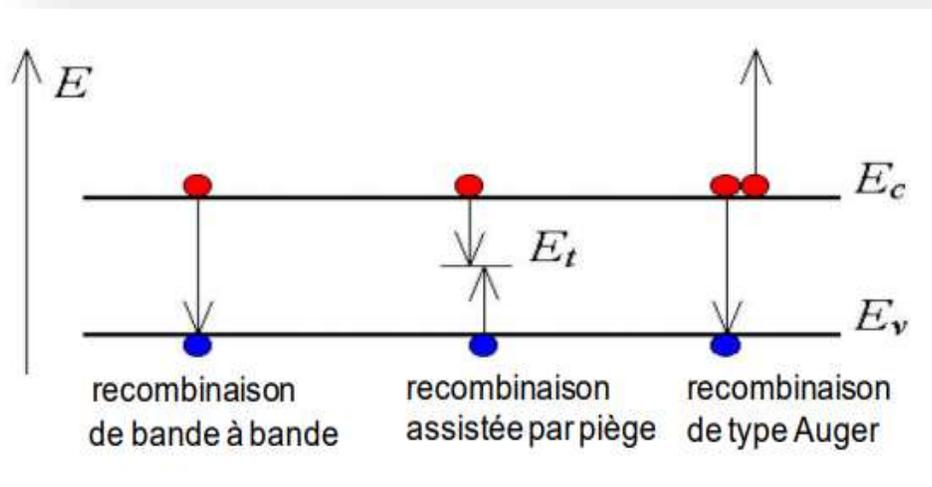
-إلتحام مباشر (من نطاق إلى نطاق)

-إلتحام غير مباشر (عن طريق مصيدة)

-إلتحام Auger

-إلتحام سطحي

وتظهر هذه العملية في الشكل :



الشكل I 6: أنواع الإلتحام [19].

1.2.7.I إلتحام مباشر :

هذه الآلية مهيمنة في أنصاف النواقل النقية ، مع بنية فجوة مباشرة يوصف إلتحام الإشعاعي على أنه الآلية العكسية للامتصاص [22]. يتم الإلتحام المباشر عندما يتحد إلكترون من نطاق التوصيل مع ثقب من نطاق التكافؤ دون أي تغيير في الطاقة الحركية لهذا الإلكترون محررا فوتون بنفس طاقة النطاق الممنوع ، هذا النوع من الإلتحام في المواد مباشرة مثل GaAs [19]. ويعبر عن الإلتحام المباشر بالمعادلة التالية [22]:

$$U_{rad} = B(np - n_i^2) \quad (5.I)$$

B : ثابت الذي يعتمد على أشباه الموصلات المستخدمة.

n و p : تركيز الثقوب والإلكترونات.

n_i : التركيز الجوهرى.

I.2.7.2 إلتحام غير المباشر (عن طريق مصيدة):

على عكس الآلية الأولى ، يحدث إلتحام في موصلات الفجوات غير المباشرة مثل Si. هذه الآلية ، تسمى أيضاً "Hall-Shockley-Read" ، يقدم خطوة في الانتقال بين نطاقات التوصيل والتكافؤ (منطقة الاستنزاف) على شكل مصيدة تقع على مستوى في النطاق المحظور . يأتي الخطأ من الشوائب أو بنية الشبكة. الإلتحام غير مباشر للتركيز عيب N_t تقع في مستوي تمثل الطاقة E_t في فجوة النطاق في صيغة [22]:

$$U_{SHR} = \frac{\sigma_p \sigma_n V_{th} N_t (n p n_i^2)}{\sigma_n (n + n_1) + \sigma_p (p + p_1)} \quad (6.I)$$

$$p_1 = p_i \exp^{(E_t - E_i)/kT} \text{ و } n_1 = n_i \exp^{(E_t - E_i)/kT} \text{ ومنه :}$$

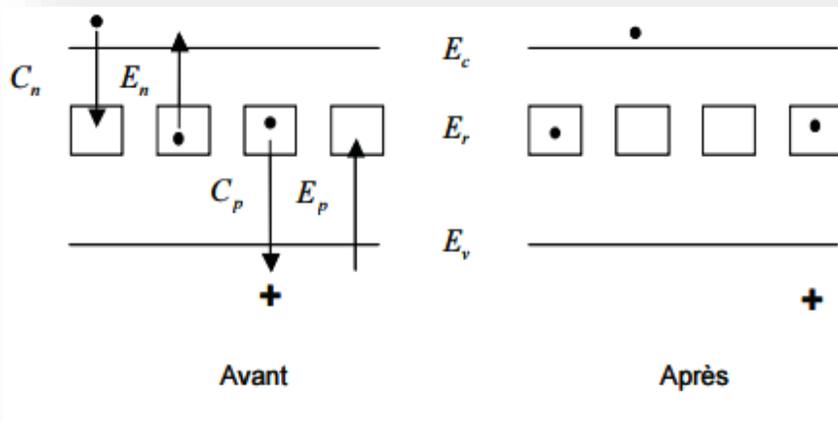
N_t : تركيز العيوب.

σ_p , σ_n : مراكز إقتناص إلكترونات والثقوب.

V_{th} : السرعة الحرارية.

E_t : مستوي فيرمي.

يمكن إعتبار أن هذه العملية تتم خلال مرحلتين :حيث يقتنص إلكترون (ثقب) من طرف حالة طاقة موجودة في النطاق الممنوع. إقتناص ثقب (إلكترون) في نفس الحالة الطاقية قبل إنبعث الإلكترون (الثقب) مجددا إلى نطاق التوصيل ،فانهما يلتحمان معا في شائبة تلعب مصائد الإلكترونات و الثقوب دورا مهما على التيار في أنصاف النواقل ،حيث تخفض من كثافة الحاملات الحرة ولكن لاتلعب دورا مهما في الإلتحام للحاملات (أنظر الى الشكل) [20] .



الشكل 7.I: مراكز الإلتحام [20].

3.2.7. I إلتحام Auger :

لدينا إلتحام من نوع Auger عندما تكون طاقة الإلكترون يتم إعادة تجميعها في نطاق التكافؤ كطاقة حركية إلى أخرى الإلكترون الحر. يتم إطلاق الطاقة المنقولة في شكل فونونات. هذه الآلية هي الغالبة في المناطق المطعمة بشدة [23]. هذه الآلية التي تتدخل أثناء تركيز عالي من ناقلات حرة ، مثلا في أنصاف النواقل الفجوة غير المباشرة [24]. الطاقة المنبعثة من إلتحام الإلكترون على مستوى أعلى من نطاق التوصيل ، أو حفرة ، على مستوى أعمق من نطاق التكافؤ. يتم إحتساب إجمالي معدل إلتحام بالصيغة التالية [22]:

$$U_{Auger} = (C_{p0} + C_{n0})(np - n_i^2) \quad (7.I)$$

C_{p0} , C_{n0} : معاملات إلتقاط إلتحام أوجي للإلكترونات والثقوب.

4.2.7.I إلتحام السطحي :

يمكن أن يكون الإلتحام على الأسطح و الواجهات تأثير مهم على سلوك أجهزة أنصاف النواقل هذا لأن الأسطح والواجهات تحتوي بشكل عام على عدد كبير من مراكز الإلتحام. بالإضافة إلى ذلك، من المرجح أن تكون الأسطح والواجهات تحتوي على شوائب. الإلتحام السطحي مهمة جداً أثناء دراسة الخلية الشمسية. يؤثر على تيار التشبع والكفاءة الكمية للخلية. لهذا تعتمد سرعة الإلتحام السطحي على خصائص مادة أشباه الموصلات المستخدمة [19]. الإلتحام السطحي تعطى بالعلاقة :

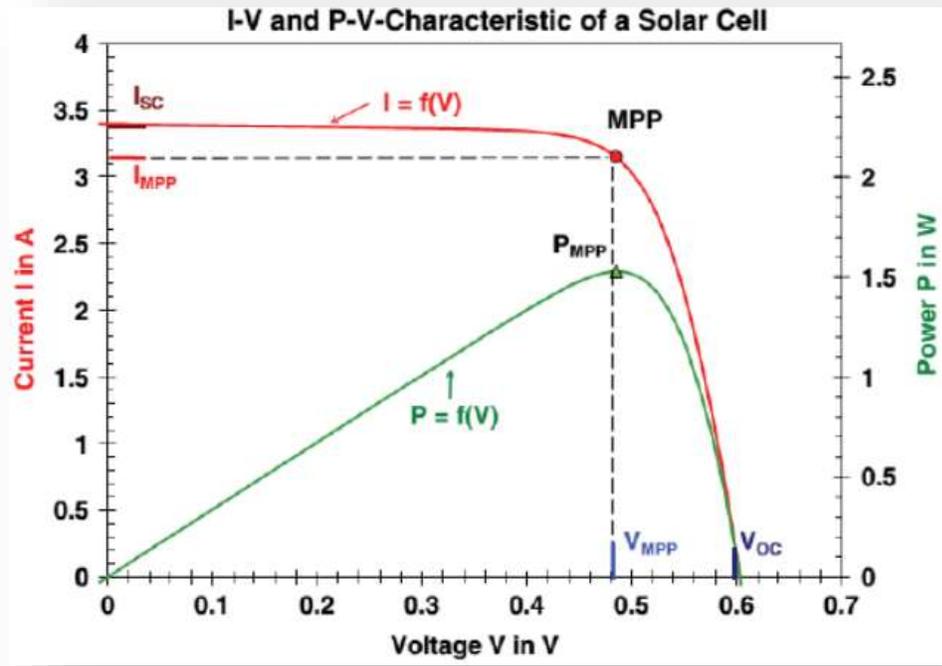
$$S = S_0 \left(\frac{N}{N_{set}} \right)^a \quad (8.I)$$

Δn : كثافة الحاملات الشحنة للإلكترونات.

d: المسافة نحو السطح.

8.I خصائص الكهربائية للخلايا الشمسية I-V :

تتميز الخلايا الشمسية بأربعة خصائص: تيار الدارة القصيرة I_{sc} وجهد الدارة المفتوحة V_{oc} ومعامل الشكل FF ومردود التحويل η .



الشكل 8.I: رسم يوضح خصائص I-V [25].

1.8.I تيار الدارة القصيرة I_{sc} :

تيار الدائرة القصيرة ، معبراً عنه بالمللي أمبير ، هو التيار المتدفق في الخلية تحت الإضاءة وبدون تطبيق الجهد. ينمو خطياً مع الشدة إضاءة الخلية وتعتمد على السطح المضيء ، الطول موجة من الإشعاع ، وحركة ناقلات الشحنة ودرجة الحرارة [26]. ينتج تيار الدارة القصيرة من توالد وجميع الحاملات المتولدة ضوئياً. وهو تيار الخلية الشمسية عندما يكون الجهد عبر الخلية معدوم ($V=0$) وعندما نضع الجهد معدوم في المعادلة:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) - I_{ph} \quad (9.I)$$

نحصل على دارة قصيرة $J_{sc} = -I_{ph}$ وعادة ما يتم تمثيل من حيث كثافة التيار والتيار لكل مساحة الوحدة تقدر ب mA/cm^2 .

I 2.8. جهد الدارة المفتوحة V_{oc} :

تم قياس جهد الدائرة المفتوحة ، معبراً عنه بالميلي فولت ، في حالة عدم وجود تيار لا يدور في الخلية . ضوء [27]. جهد الدارة المفتوحة هو أقصى جهد ممكن يولد عبر أطراف الخلية الشمسية عندما تظل مفتوحة، أي $I=0$ ويتم الحصول على جهد الدائرة المفتوحة عندما يكون التيار المتدفق عبر الخلية صفراً . وهو يعتمد على حاجز الطاقة ومقاومة التحويل. ينخفض مع درجة الحرارة ويختلف قليلاً مع شدة الضوء . [27] وبالتالي تصبح عبارة جهد الدارة المفتوحة كمايلي:

$$V_{oc} = V_t \ln\left(1 + \frac{I_{ph}}{I_s}\right) \quad (10.I)$$

I 3.8. معامل الشكل FF :

بمأن أعظم تيار ممكن هو التيار الضوئي أو تيار دائرة القصيرة I_{sc} وأعظم جهد ممكن هو جهد الدارة المفتوحة V_{oc} إذن الجداء $(I_{sc} \times V_{oc})$ يمثل الإستطاعة المرغوب تحريرها من أجل خلية شمسية معينة . إذن من المهم مقارنة الإستطاعة الأعظمية المحررة من قبل الخلية $I_m \times V_m$ مع $I_{sc} \times V_{oc}$. وهذا ما يعرف بمعامل التعبئة (معامل الشكل) الذي يعكس كفاءتها حيث:

$$FF = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (11.I)$$

FF هو مقياس لمدى قرب منحنى الخصائص قرب المنحنى الخصائص I-V للخلية الشمسية من الشكل المستطيل (الشكل المثالي). من الجيد أن يكون FF أقرب ما يمكن من الوحدة . لكن التزايد الأسّي لخصائص الوصلة PN يمنع هذا . عادة ماتكون قيم FF في المجال (0.7 - 0.85) أو بالنسبة المئوية (80% - 70%) وترتبط بالمادة المستعملة وبنيتها.

I 4.8. مردود التحويل η :

كفاءة التحويل المعبر عنها كنسبة مئوية ، تشير إلى كفاءة تحويل الطاقة . ويتم تعريفها على أنها النسبة بين الحد الأقصى من الطاقة التي تقدمها الخلية و طاقة الضوء الساقط P_{inc} [26].

$$\eta = \frac{V_m I_m}{P_{in}} = \frac{FF V_{oc} I_{sc}}{P_{in}} \quad (12.I)$$

I_m : التيار المطابق للحد الأقصى من الطاقة المزودة وحدته (mA/cm^2)

V_m : الجهد المقابل للحد الأقصى من الطاقة الواردة (V)

ستكون كفاءة الخلية الكهروضوئية حوالي 85% إذا كان كل فوتون يمكن أن ينقل كل طاقته إلى إلكترون وهكذا ، الفوتونات ذات طاقة أقل لا أن تشارك في التأثير الكهروضوئي ستتحول طاقتها إلى حرارة [27].

9.I الوصلة PN :

يتم تشكيل الوصلة PN للتحكم بشكل فعال في الخصائص الكهربائية للمادة . في هذه الحالة التيار لا يمر إلا في اتجاه واحد، حيث تتكون الوصلة من منطقتين مطعمتين من نوع P و N متجاورتين الشكل (9. I) وهذا يعني أنه الإنتقال من المنطقة P الى المنطقة N يحدث فجأة . عندما يتم الجمع بين المنطقتين ، الإختلاف في التركيز بين شحنات المنطقتين P و N يؤدي الى نشوء تيار انتشار، الثقوب في المنطقة P تنتشر نحو منطقة N تاركة وراءها ذرات مؤينة . والتي تشكل أكبر عدد ممكن من الذرات المؤينة السالبة الثابتة . وهو نفسه بالنسبة للإلكترونات في المنطقة N حيث تنتشر الي المنطقة P تاركة وراءها شحنات موجبة يظهر عند التقاطع منطقة تحتوي على شحنات موجبة و سالبة ثابتة . تسمى منطقة شحنات الفضاء تحتل هذه الشحنات مجالا كهربائيا يعاكس تيار إنتشار الحاملات بطريقة توازن كهربائي. يحافظ على التوازن دون أي قوى خارجية حاجز الجهد V_b حيث يحافظ هذا الحاجز في التوازن عن طريق فصل الإلكترونات الأغلبية في المنطقة N والإلكترونات الحاملة الاقلية في المنطقة P ، وبالمثال فإنه يفصل الثقوب الحاملة الأغلبية في المنطقة P و الثقوب الحاملة الاقلية في المنطقة N [19]. لأن هذا الجهد يحافظ على التوازن ولا ينتج تيار ، التمثيل الرياضي لهذا الجهد هو :

$$V_{bi} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right) \quad (13.I)$$

حيث :

N_a : تركيز الأخذات (cm^{-3})

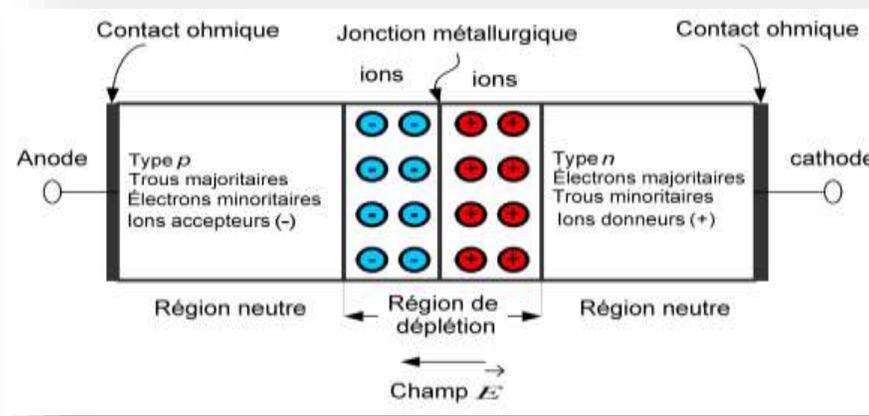
N_d : تركيز المانحات (cm^{-3})

q : الشحنة العنصرية

عرض منطقة النضوب (منطقة شحنات الفضاء) W يرتبط أيضا بمستوي التطعيم في المنطقتين يمكن حسابها بالمعادلة :

$$w = \left\{ \frac{2\epsilon_s V_{bi}}{e} \left[\frac{N_a + N_d}{N_a N_d} \right] \right\}^{1/2} \quad (14.I)$$

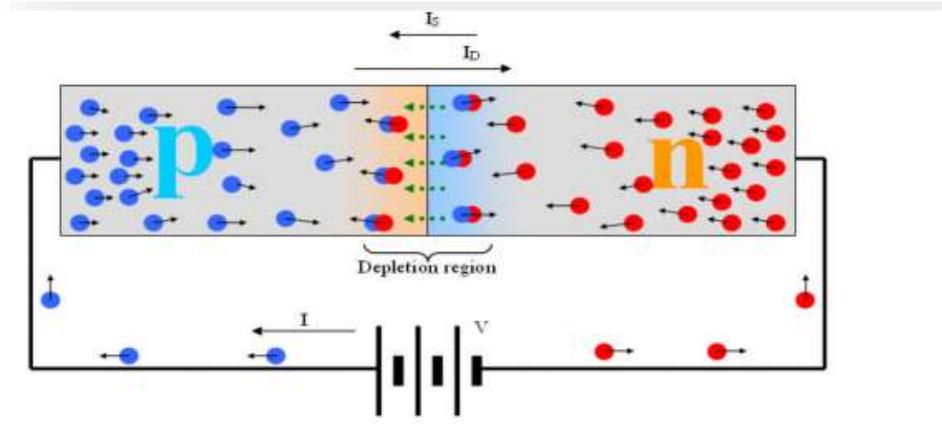
-القيم النموذجية لعرض منطقة النضوب بين $10 \mu m$ و $0.1 \mu m$



الشكل I.9 : وصلة PN في حالة التوازن [19].

I.9.1 إستقطاب مباشر للوصلة :

إذا إستقطبنا الوصلة تحت تأثير جهد مباشر V_{direct} حيث يقلل من إرتفاع حاجز الجهد الذي يصبح $(V_{bi} - V_{direct})$ مما يؤدي إلى إنخفاض في عرض منطقة النظوب (في المعادلة السابقة) يعوض V_{bi} بـ $(V_{bi} - V_{direct})$. العديد من الإلكترونات من المنطقة N و الثقوب من المنطقة P يمكنها عبور حاجز الكمون . ثم تحصر بعد ذلك ، ويتم إعادة تجميعها انظر الشكل (10.I).



الشكل I.10 : إستقطاب مباشر للوصلة [19].

الحاملات الأغلبية تنتقل من المنطقة N إلى المنطقة P فإنها تصبح أقلية ، حيث تنتشر إلى أن تلتحم مع ثقوب أغلبية وبالمثل ستكون الثقوب الناتجة بشكل دائم في المنطقة متاحة لإعادة إلتحام مع الإلكترونات التي يعبر حاجز الكمون ، جزء من التيار الناتج يرجع انتاجه الى التشبع I_s و جزء منه بسبب الإنتشار (I_D) و مع ذلك

تيار الانتشار أكبر بكثير من تيار التشبع (المعادلة) بسبب الإنخفاض في منطقة النضوب ، كما هو موضح في الشكل (10.I) خاصية التيار - الجهد للوصلة PN في حالة إستقطاب مباشر.

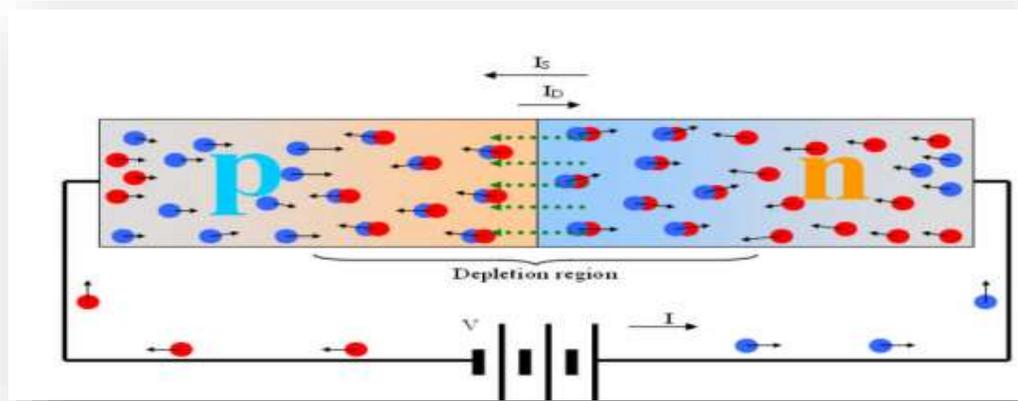
$$I_{total} = I_S + I_D = I_D \quad (15.I)$$

2.9.I إستقطاب غير مباشر للوصلة :

إذا كان استقطاب الوصلة عكسيا ، إرتفاع حاجز الجهد بين المنطقتين N و p بواسطة الجهد الخارجي المصنف ($V_{indirect}$) ويصبح ($V_{bi} + V_{indirect}$) ، الحقل الكهربائي في منطقة شحنات الفضاء يزداد بالإضافة إلى عرض منطقة النضوب (W) (معادلة) V_b يعوض $V_{bi} + V_{dircet}$ الشحنات الأغلبية في المنطقة P و N لا تمتلك طاقة كافية للقفز على حاجز الجهد الوصلة عكسية بواسطة التيار التشبع ضعيف I_S ، مبينة في الشكل (11.I) وضع أقل التيار التشبع العكسي I_S لهذه الوصلة عرض المنطقة النضوب يعطي بالعلاقة التالية :

$$W = \frac{2\epsilon_s(V_{bi}+V_R)}{e} \left[\frac{N_a+N_d}{N_a N_d} \right]^{1/2} \quad (16.I)$$

$$I_{total} = I_S + I_D \approx I_S \quad (17.I)$$



الشكل 11.I : إستقطاب عكسي للوصلة [19] .

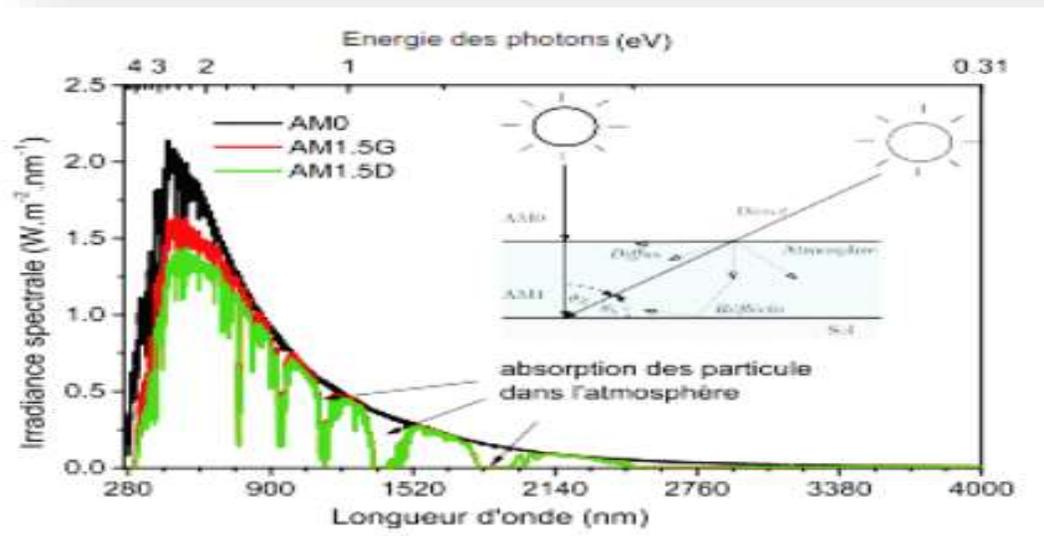
الفصل الثاني :
الوصلة غير المتجانسة

1.II مقدمة:

الخلايا الشمسية هي مكونات كهروضوئية تقوم بتحويل مباشر لضوء إلى كهرباء في المستقبل القريب، قد تحتل هذه التقنية دورا بارزا في توليد الكهرباء من أجل الحد من التلوث البيئي. يقدم هذا الفصل بعض المفاهيم الأساسية في فيزياء الخلايا الشمسية سنتطرق إلى خصائص الإشعاع الشمسي بعد ذلك نشرح مصادرات الإلكترونات الناتجة من الإشعاعات الشمسية، ثم نعرض أهم المواد في تقنية الخلايا الشمسية وأهم المواد في صناعة الخلايا الشمسية الفضائية مع الهيكل البلوري لها، كما نقدم في هذا الفصل مفهوم الوصلات غير المتجانسة.

2.II الإشعاع الشمسي:

تبلغ المسافة من إلى الأرض إلى الشمس حوالي 150 مليون كيلومتر وسرعة الضوء أكبر عن $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ لذلك تستغرق أشعة الشمس حوالي 8 دقائق للوصول إلى الأرض. الإشعاع الذي تتلقاه الأرض بشكل طبيعي حوالي 1400 واط/متر قبل الإقتراب من الغلاف الجوي. عندما يمر الإشعاع الشمسي عبر الغلاف الجوي للأرض يتقلص التوزيع الطيفي ويتغير ذلك نتيجة لظواهر الإمتصاص والتشتت يحدث الإمتصاص الجوي عادة بسبب الأوزون (O_3) الأكسجين (O_2) وأكسيد الكربون (CO_2) وبخار الماء H_2O أما التشتت هو في الأغلب بسبب الغبار الجوي وجزيئات الهواء (تشتت رايلي) [28].



الشكل 1. II: أطيف شمسية AM0 و AM1.5G (كلي) و AM1.5D (مباشر)، تم الحصول عليها

بواسطة معيار ASTM [29].

تحدد كتلة الهواء مدى تأثير الغلاف الجوي على ضوء الشمس المستقبل على سطح الأرض ،وهي مقياس للطيف الشمسي في الأرض (عندما تكون الشمس في الموضع الرأسي فإن كتلة الهواء هي الوحدة) ويتم حسابها كما يلي :

$$\text{Air Mass} = \frac{1}{\cos\theta} \quad (1.II)$$

θ : هي زاوية الرأس

وبالتالي فإن كتلة الهواء دائما أكبر او تساوي واحد على سطح الأرض. يمثل $AM1.5G$ الطيف القياسي على مستوى سطح الأرض ،حيث أن هذا المعيار هو الأكثر إستخداما ($\theta=48^\circ$) أما كتلة الهواء ($AM0$) يستخدم للتنبأ بأداء الخلايا الشمسية في الفضاء لأنه لا يوجد غلاف جوي ليجتازه الإشعاع الشمسي [30].

3.II تعريف مصائد الإلكترون:

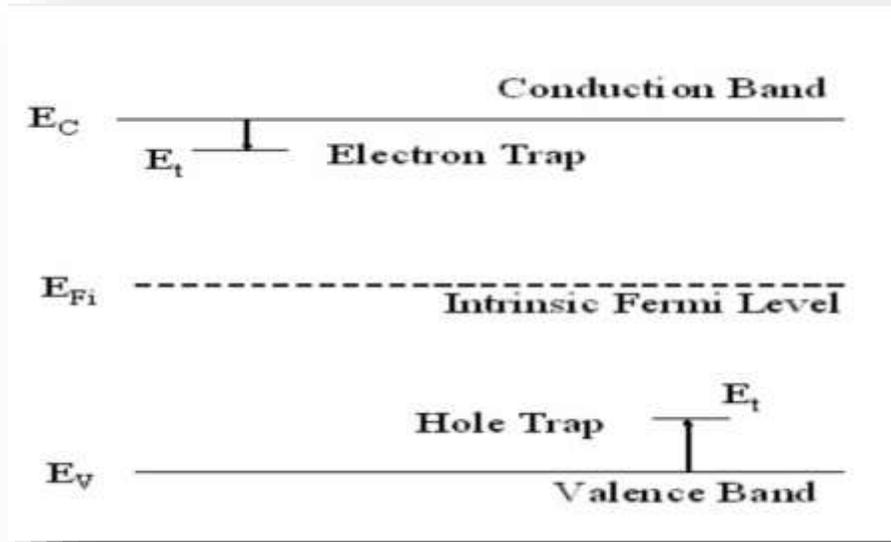
توجد مصائد الإلكترونات بكثرة في شبكات أنصاف النواقل المسامية كعيوب هيكلية في الجسيمات ،عند حدود الحبيبات عند نقاط التلامس بين الجسيمات ، في السطح الداخلي للبنية النانوية. تتكون المصيدة إما من شوائب كيميائية أو عيب في التباعد المنتظم للذرات التي تتكون منها المادة الصلبة، تلعب مصائد دورا مهما في التوصيل الضوئي و تشغيل الأجهزة الإلكترونية. يمكن للمصيدة إلتقاط الإلكترون أو الثقب وتثبيته ومنع إعادة تركيبه مع حامل الشحنة المعاكسة كزوج (ثقب-إلكترون). قد تتحرر الإلكترونات والثقوب من المصائد بسرعة ، أو قد تبقى فترة طويلة. يمكن إطلاق حاملات الشحنة من المصائد بإضافة الطاقة، مثل تشعيع المادة بالضوء أو تسخينها.

4.II خصائص المصائد:

يمكن أن تتميز المصائد بمختلف الإعدادات لتشمل نوع الناقل ويمكن توقع حدوثها ،ومستوي الطاقة، إلتقاط المقطع العرضي ، وكثافة مصيدة محددة واجهتها [29].

II 4.1 نوع المصائد ومستوي الطاقة:

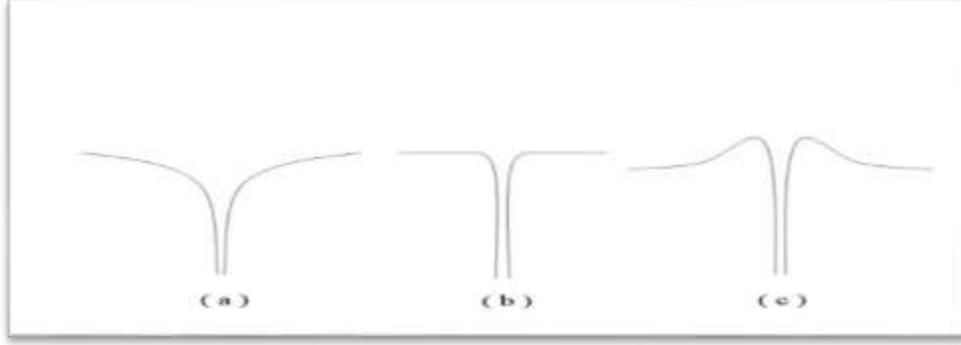
يتم تعريف مصيدة إلكترون أو مصيدة الثقب اعتمادا على الناقل الذي يمكنها من توقع إلتقاط . من المتوقع أن تحبس مصائد الإلكترونات والإلكترونات من نطاق التوصيل إلى المصيدة المحلية E_f لمستوي الطاقة . من المتوقع أن تلتقط مصائد الثقوب ثقوبا من نطاق التكافؤ. يتم قياس من نطاق تكافؤ إلى مستوي المصيدة المحلية أنظر الشكل (2.II) [29].



الشكل 2.II : مصائد الناقل ومستويات الطاقة [29].

2.4.II إلتقاط المقطع العرضي:

لا يخضع عمر الناقل عموماً إلى الإلتحام المباشر ، ولكن بواسطة وجود عيوب [28]. الإلتحام في المصائد يتأثر بإحتلال الفخاخ بواسطة الحاملات .مدى الإحتلال مرتبط بكثافة الناقل من خلال إحتمال الإلتقاط بواسطة مصيدة شاغرة تعرف بإسم المقطع العرضي s . يتم تحديد قيمة المقطع العرضي لإلتقاط بواسطة الإلتقاط من قبل المحتملة بالقرب من المصيدة . المصائد التي تجذب شحنتها الكهربائية حاملة الشحنة المعاكسة لها مقطع عرضي كبير التقاط (الشكل 3-أ) على ترتيب المقطع العرضي الذري لذرة النازحة. سيكون المصائد المحايدة لذرة النازحين الواحد من التقاط المقطع العرضي (الشكل 3-ب). ستتحالي المراكز التي تكون شحنتها هي نفس الناقل ستحيط بها حاجز محتمل مما تسبب في تنافر إلكتروستاتيكي مما أدى إلى مقطع عرضي منخفض جدا كما هو موضح في (الشكل 3-ج). سيتم استخدام ذرة محايدة نازحة واحدة داخل بنية بلورة طبيعة المقطع العرضي التقاط. على إفتراض أن الذرة النازحين يخلق فخ سلبي عند النازحين ، فإن الذرة النازحة سيكون لها إمكانية كبيرة لإلتقاط الثقوب . بمجرد احتلال الفخ من قبل ثقب من خلال انبعاث الإلكترون ،يصبح محايدا مسؤولاً، ويحتوي الآن على المقطع العرضي أصغر لإلتقاط الالكترون [28].



الشكل 3.II: تمثيل المقطع العرضي، (أ) عكس ذلك، (ب) محايد، (ج) الشحن مع مركز جاذب [29].

II 3.4 كثافة المصادم:

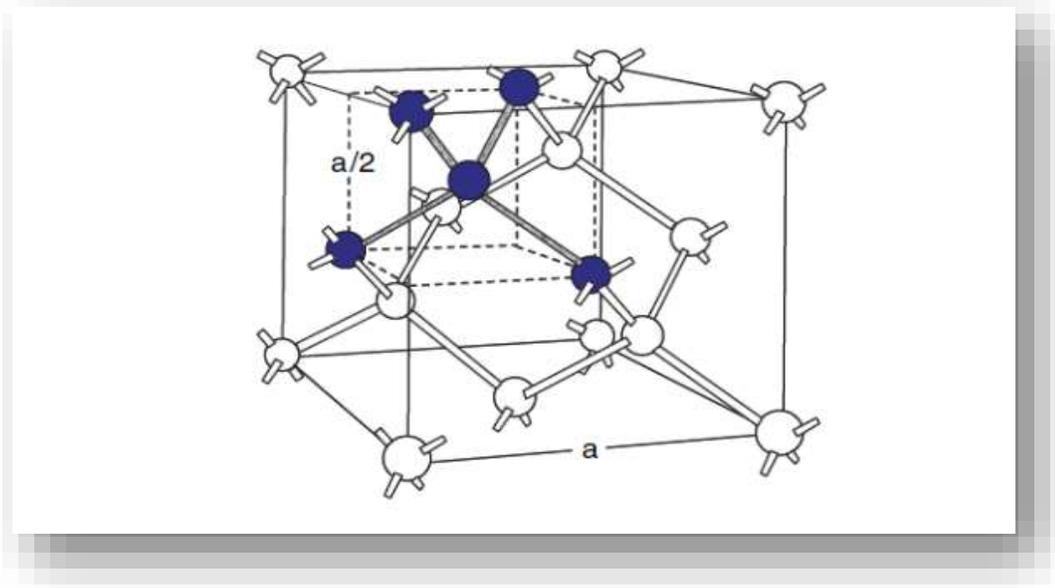
يتم تعريف عدد المصادم في حجم معين على أنها كثافة المصيدة N_t . يوجد علاقة خطية بين كثافات المصيدة وطلاقة الإشعاع (ϕ) . مع زيادة مستوي الطلاقة، تزداد كثافة المصادم أيضا من خلال عامل ثابت هو ناتج الذرات لكل وحدة حجم، n_a . التقاط المقطع العرضي، s ، ومتوسط النزوح في النزوح الأولية مع إعطاء [29]:

$$N_t = n_a s n \Phi \quad (2.II)$$

نظرا لأن عدد الجزيئات يشع المادة، تزداد كمية أو كثافة المصادم، ولكن نوع الضرر الذي تم إنشاؤه يظل ثابتا لنوع معين من الإشعاع على مستوي طاقة معين [29].

II 5 الشكل البلوري لسليكون و الجيرمانيوم:

يعتبر السيليكون (Si) والجيرمانيوم (Ge) من أنصاف النواقل المعروفة، حيث يعتبران نموذج أول لفئة كبيرة من أنصاف النواقل ذات الهياكل البلورية المتماثلة [13]. الشكل البلوري لهذان العنصران من نفس بنية الماس، في هذا الهيكل كل ذرة محاطة بأربع ذرات متجاورة مكونة بذلك رباعي أسطح [31]. أنظر الشكل (4.II) أنصاف النواقل ذات وصلة رباعي الأسطح تشكل ركيزة صناعة الإلكترونيات [31].

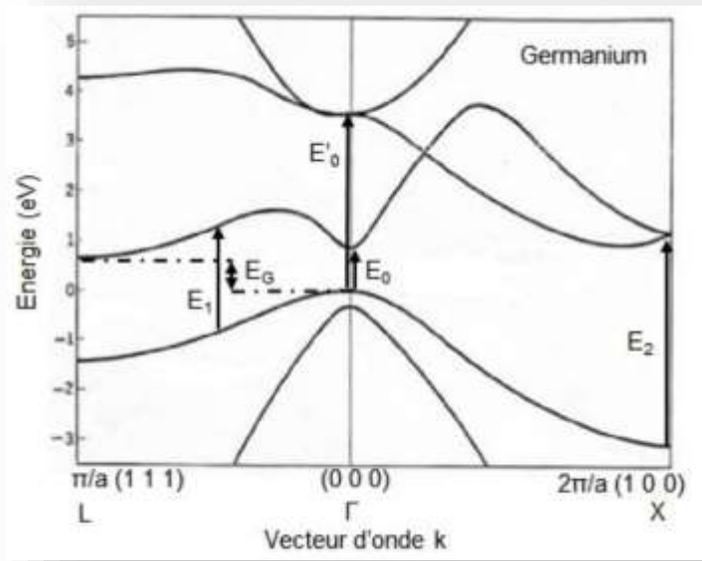


الشكل II 4: بنية السيليكون والجرمانيوم [31].

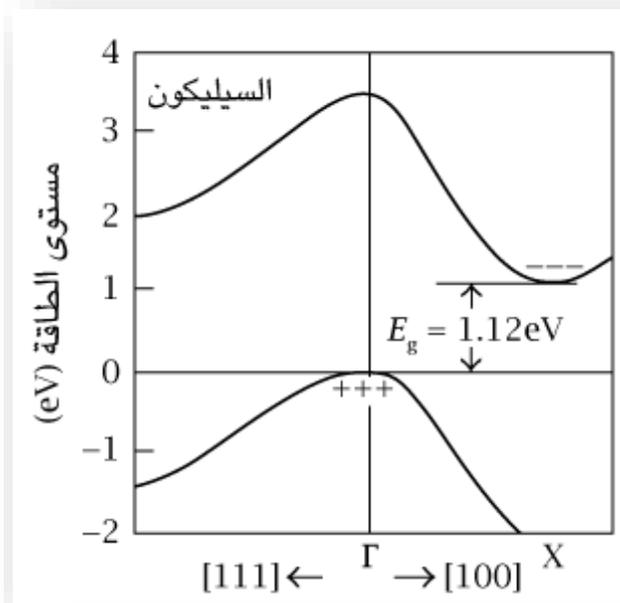
بالنسبة للسيليكون هو مادة أنصاف النواقل الأكثر شهرة وبالتالي الأكثر إستخداما في الصناعة [32]. يشكل حوالي 26% من القشرة الأرضية وهو لا يتشكل بمفرده في الطبيعة، ولكن بالإشتراك مع الأوكسجين الذي يشكل أكاسيد وسيليكات [33]. هو الأكثر إستعمالا لأنه غير سام يمكن إستخراجه بسهولة من الرمال، له خصائص إلكترونية ممتازة، كما يطعم بسهولة مع الفوسفور او البور [34].

1.5.II بنية النطاق الطاقى لسليكون و الجرمانيوم:

يوضح الشكلان تركيب نطاق السيليكون والجرمانيوم تم حسابهما بطريقة معقدة، يحتوي الجرمانيوم على بنية نطاق غير مباشر، الحد الأدنى لنطاق التوصيل عند النقطة L. بالنسبة للسيليكون يقع الحد الأدنى من نطاق التوصيل بالقرب من النقطة X وبالتالي ليس في نفس النقطة في الفضاء K مثل نطاق التكافؤ، تسمى بنية النطاق في هذه الحالة نطاق غير مباشر [33].



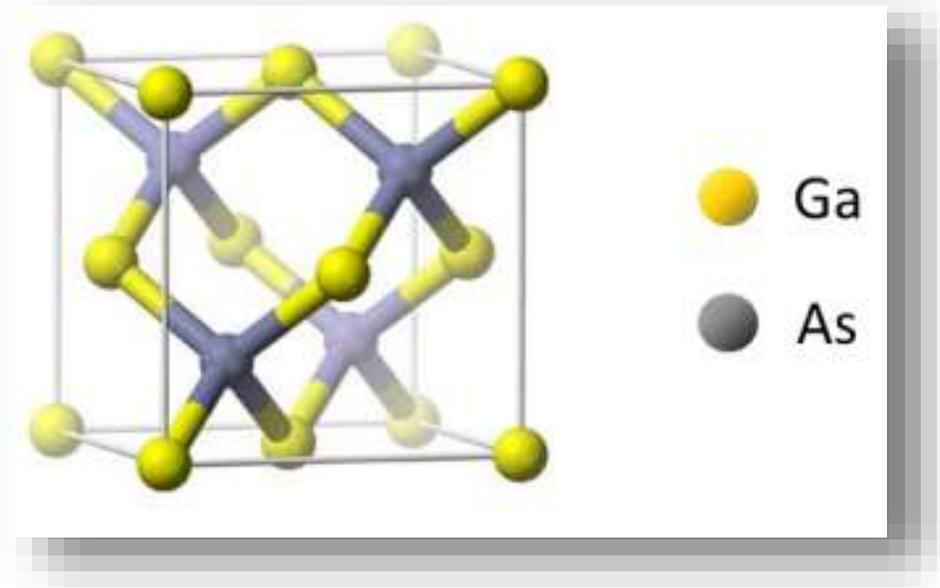
الشكل 5. II: بنية النطاق الطاقى الجرمانيوم [34].



الشكل 6. II : بنية النطاق الطاقى لسليكون [34].

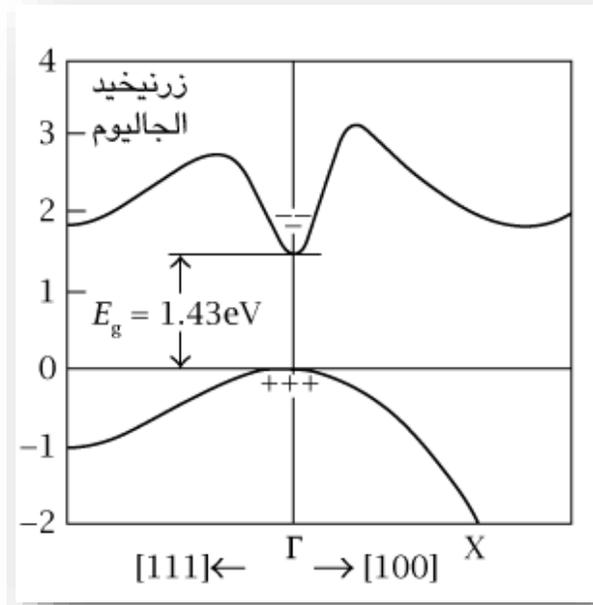
II 6. الشكل البلوري لزرنينخ الغاليوم (GaAs) :

وهي مادة تستخدم على نطاق واسع في صناعة أنصاف النواقل بسبب النطاق الطاقى المباشر الكبير وبالتالي فهي تتمتع بامتصاص عالي. الخلايا الشمسية القائمة على زرنينخ الغاليوم GaAs تم إستخدامها بشكل واسع في التطبيقات الفضائية، وذلك بسبب كفاءتها العالية وتدهورها المنخفض في مواجهة الإشعاع في الفضاء. ومع ذلك كانت هناك مشكلة كبيرة تعارض تطوير الخلايا الشمسية من GaAs وهي الإلتحام على السطح. GaAs عنصر من المجموعة (III-V) ذات هيكل بلوري من نوع زرنينخ الزنك، يتكون هذا الهيكل من شبكتين فرعيتين مكعبتين مع وجوه مركزية، واحدة من عنصر Ga وأخرى من عنصر As يقابلها ربع القطر الرئيسي أنظر الشكل (7.II) [34].



الشكل II 7. الشكل البلوري لزرنينخ الغاليوم GaAs [35].

النطاق الطاقى من الشكل:



الشكل II 8: النطاق الطاقى لزرنيخ الغاليوم GaAs [34].

II 7. الشكل البلوري لسبيكة زرنيخ ألنيوم غاليوم (AlGaAs) :

تعد السبيكة $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ حلا صلبا لـ GaAs و AlAs أنظر الشكل (II 9)، يمكن الحصول على المتغيرات الأساسية لهذه السبيكة من خلال الجمع بين المتغيرات المقابلة لـ GaAs و AlAs. المادتين لهما نفس التركيب البلوري، تحت درجة حرارة 900°C [19].

تتغير طبيعة إنتقال الطاقة للسبيكة $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ وفق معدل الألنيوم x مع $0 < x < 1$ من أجل جزء من الألنيوم أقل من 0.45 والإنتقال من الشبكة مطابقة لتلك التي في الغاليوم GaAs، التي تتميز بإنتقال مباشر. عندما يصبح مستوي الألنيوم أكبر من 0.45. تعتمد المتغيرات الفيزيائية المختلفة لـ $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ علي المعدل x من الألنيوم [19].

في درجة حرارة الغرفة التقارب الإلكتروني χ يكتب:

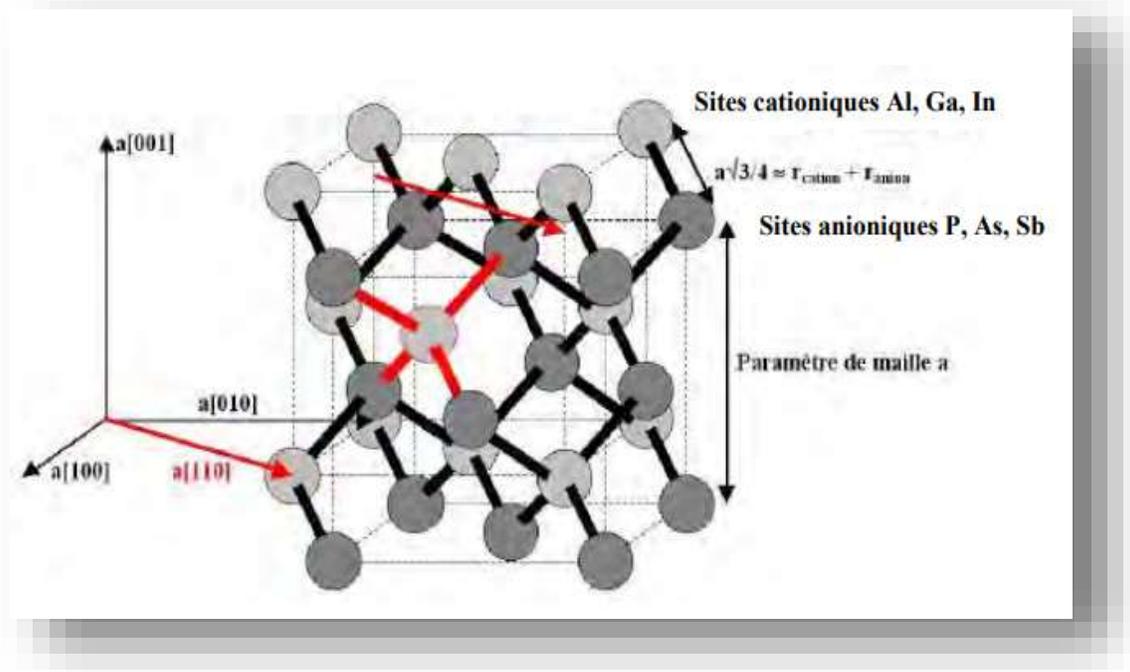
$$\chi = 4.07 - 1.01 x \quad \text{من أجل} \quad x \pi 0.45 \quad (\text{a.3. II})$$

$$\chi = 3.64 - 0.14 x \quad \text{من أجل} \quad 0.45 \pi x \pi 1 \quad (\text{b.3. II})$$

لكي تشكل لنا مادتان وصلة غير متجانسة جيدة يجب أولاً أن تكون متغيرات الشبكة قريبة قدر الإمكان وبهذا الغرض المادة $Al_x Ga_{1-x} As$ مهمة جداً عندما يختلف x من 0 إلى 1 أي عندما الإنتقال من من GaAs إلى AlAs، يتغير هيكل النطاق من نطاق ممنوع إلى نطاق مباشر بقيمة 1.43 eV إلى نطاق ممنوع غير مباشر بقيمة 2.16 eV ، بينما ينتقل ثابت الشبكة من 5.653 \AA إلى 5.661 \AA ، أي إختلاف أقل من 0.2% وبالتالي يمكن تنمية جميع التركيبات على GaAs. يتوافق الشبكة يتم إعطاء جميع نطاقات الطاقة و (النطاق الممنوع) (eV) كدالة لتكوين الألمنيوم x [19]، و ثابت الشبكة (A°) بالعلاقات:

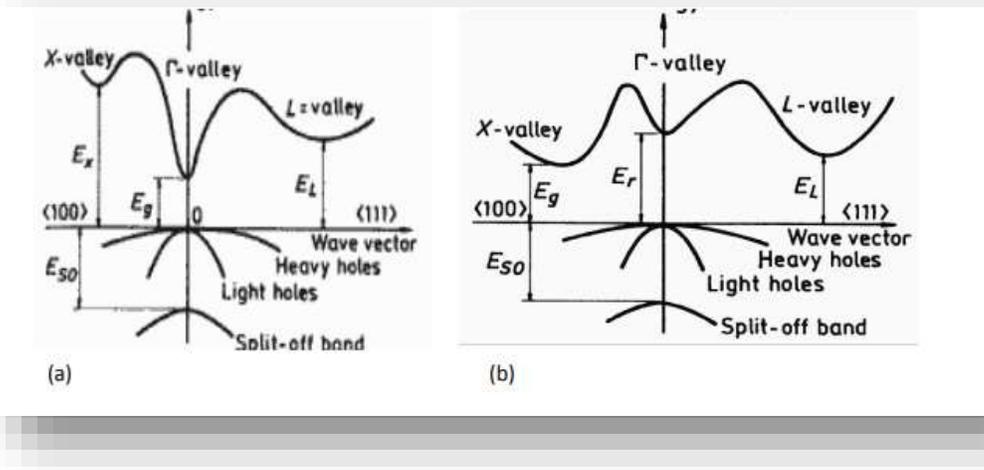
$$a = 5.6533 + 0.0078x \quad (4. \text{ II})$$

$$E_g = 1.424 + 1.155x + 0.37x^2 \quad (5. \text{ II})$$



الشكل II.9: هيكل GaAs، يتكون من شبكتين فرعيتين مكعبتين مع وجوه مركزية، يقابلها ربع القطر الكبير للمكعب، ويحتلها أحدها الأيون As والآخر بواسطة (Al, Ga) [19].

النطاق الطاقى له من الشكل:

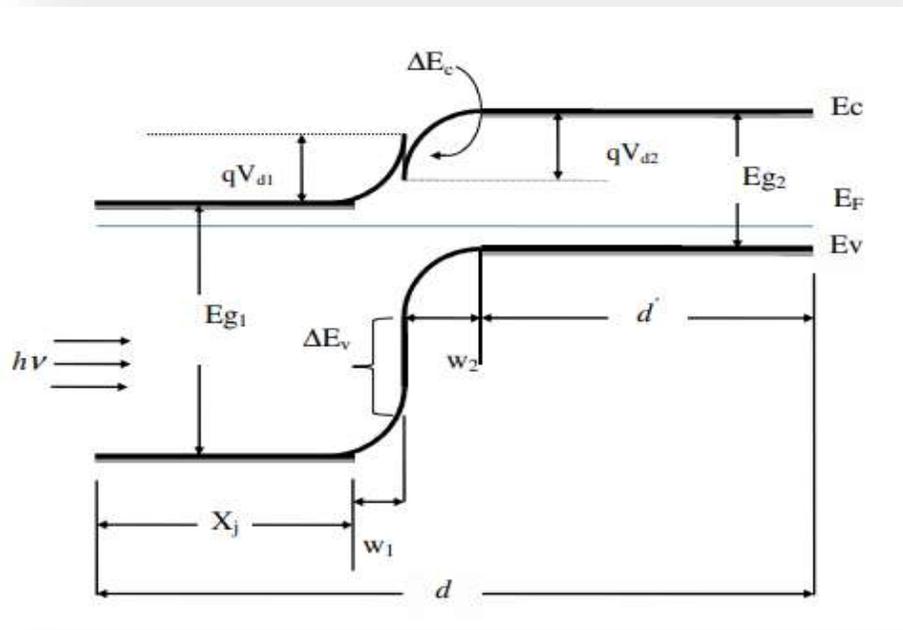


الشكل 10.II: بنية نطاق الطاقة لـ $Al_x Ga_{1-x} As$ من أجل الحد الأدنى المهم من نطاق التوصيل والحد الأقصى من نطاق التكافؤ - من أجل $0.41 < x < 0.45$ ب- من أجل $x > 0.45$.

8.II الوصلة غير المتجانسة:

الوصلة غير المتجانسة هي تقاطع بين مادتين مختلفتين إذا كانت المادتين من أنصاف النواقل، فهي عبارة عن وصلة غير متجانسة لأنصاف النواقل في هذه الحالة، يكمن الاختلاف عادة في بنية النطاقات الشكل (11.II) يعطي مخططاً لنطاقات الطاقة للوصلات الغير متجانسة N/P في حالة التوازن الترموديناميكي [36].

مثال: قد يكون GaAs من النوع P على جانب واحد من الوصلة و AlGaAs من النوع N على الجانب الآخر من الوصلة، نظراً لأنه لا يوجد سوى تغير طفيف جداً في ثابت الشبكة لهذا النظام، يتم تحقيق وصلة P-N أحادي البلورة عالي الجودة [36]. عندما يتم التلامس بين أنصاف النواقل، تنتشر الموجات الحاملة من منطقة من الوصلة إلى منطقة أخرى، بنفس طريقة أحادي الوصلة في حالة التوازن الترموديناميكي يكون مستوى فيرمي على طول الخلية تمر الفوتونات ذات الطاقة الأقل من E_{g1} والأكثر من E_{g2} ، تمر أنصاف النواقل الأولى ويتم إمتصاصها في الثانية تتمتع الوصلات الغير متجانسة بأداء أفضل من الوصلات المتجانسة. إستجابة طيفية أفضل وإستغلال الحد الأقصى من الطيف الشمسي. مقاومة منخفضة للسلسلة، إذا كانت أنصاف النواقل الأولى مطعمة جداً (دون التأثير على خصائص إنتقال الضوء). تحسن إمتصاص الضوء إذا كان أول نصف ناقل سميك (الإمتصاص في أنصاف النواقل). جهد عالي في الدارة المفتوحة.



الشكل 11.II: مخطط نطاق الطاقة للوصلة غير المتجانسة N/P في حالة التوازن الترموديناميكي [36].
d' : عرض المنطقة المحايدة للقاعدة .

$$d' = D (X_j + W_1 + W_2) \quad (6.II)$$

تكمّن المشكلة الأساسية في دراسة الوصلات غير المتجانسة في تحديد الحاجز الكموني المحتمل الموجود في الواجهات المختلفة يعمل هذا الحاجز على ضبط مرور الإلكترون أو الثقب من مادة إلى أخرى. بشكل عام يمكن تحديد حالات إنقطاع النطاق في أحد تعبيرات عدم الإستمرارية لنطاق التوصيل أو نطاق التكافؤ، بشكل عام يعد إنقطاع نطاق التوصيل هو الأكثر إهتماماً. القاعدة الأكثر إستعمالاً من طرف الباحثين والعلماء لحساب هذا الإنقطاع، هي قاعدة تقارب الإلكترون أو نموذج أندرسون. وهي تفرض أن إنقطاع نطاق التوصيل عند الوصلة غير المتجانسة المفاجئة، يساوي الفرق في التقارب الإلكتروني بين أنصاف النواقل:

$$\Delta E_c = E_{c2} - E_{c1} = \chi_2 - \chi_1 \quad (7.II)$$

$$\Delta E_v = \Delta\chi + \Delta E_g \quad (8.II)$$

χ : التقارب الإلكتروني

\emptyset : طاقة الربط

حيث:

الفصل الثاني

الوصلة غير المتجانسة

E_g : النطاق الممنوع.

E_c - نطاق التوصيل .

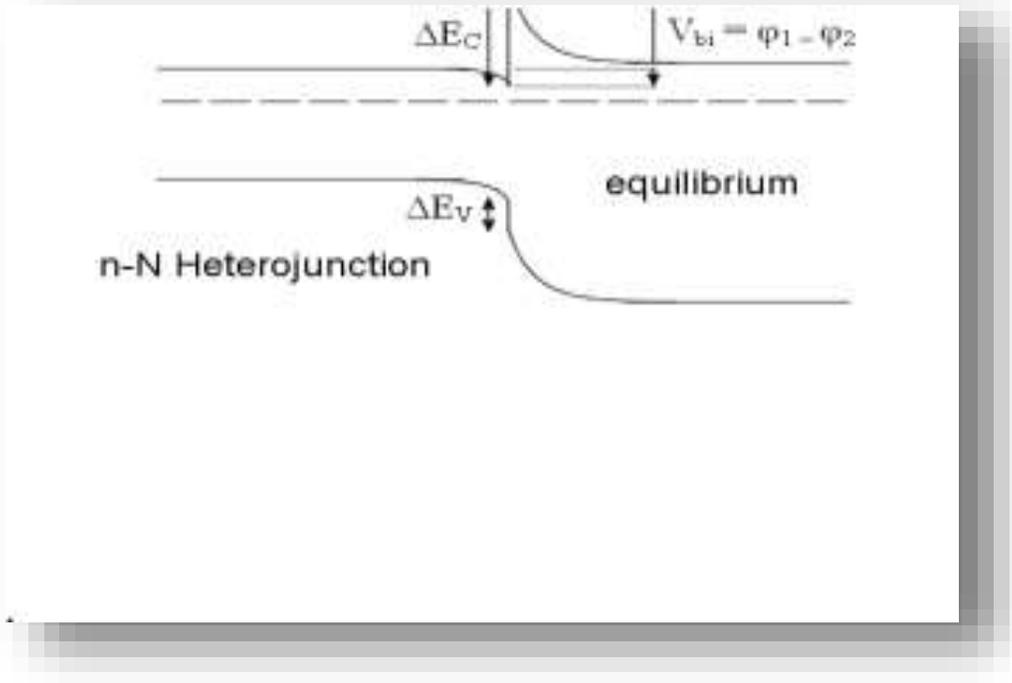
E_v - نطاق التكافؤ.

E_f - مستوى فارمي.

V_{bi} - الحاجز الكموني.

ΔE_v : تغيرات نطاق التكافؤ.

يظهر مخطط الطاقة لهذا النوع من الوصلات في الشكل (12.II) ، لاحظ أن هناك إنحناء النطاق بالقرب من الوصلة بسبب تشكيل منطقة شحنات الفضاء . بالإضافة الى ذلك نشأ إزاحة لنطاق التوصيل والتكافؤ ΔE_c و ΔE_v [37] .



الشكل 12.II: الرسوم التخطيطية لتداخل النطاق في الوصلة غير المتجانسة [37] .

الفصل الثالث :

محاكاة تأثير مصائد الإلكترونات
على الخلايا الشمسية غير
المتجانسة

1.III مقدمة:

يتكون هذا الفصل من جزأين رئيسيين الجزء الأول يعطي وصفا مفصلا لنظام المحاكاة (SCAPS-1D) لمحاكاة الخلايا الشمسية في بعد واحد يستخدم لتحليل ودراسة أداء الخلايا الشمسية في بعد واحد على أساس التأثير الكهروضوئي. الجزء الثاني يصف هيكل الخلية الشمسية، بعض الإعدادات الفيزيائية المتعلقة بتأثير مصائد الإلكترونات على الوصلة غير المتجانسة (GaAs/Si) و (GaAs/Ge) و (AlGaAs/GaAs) في وجود وغياب الإشعاع والمقارنة بينهم و يعرض هذا الجزء ويناقش بعض النتائج تم الحصول عليها بإستخدام برنامج (SCAPS-1D) .

2.III برمجية المحاكاة SCAPS:**1.2.III نظرة عامة وطريقة المحاكاة:**

نذكر بعض برامج المحاكاة، المتوفرة في الوقت الحاضر من اجل البحوث الكهروضوئية مثل: PC1D (كمبيوتر شخصي بعد واحد) [38] . AMPS-1D (تحليل التركيبات الدقيقة والضوئية) [39] . تم تطوير SCAPS بشكل أساسي لنمذجة طاقة الخلايا الشمسية القائمة على الطبقات رقيقة (CIGS و CdTe) (التطورات الأخيرة تجعل تطبيق البرنامج ناجح لنموذج الخلايا الشمسية على أساس مواد أخرى، مثلا لخلايا الشمسية البلورية (Si و GaAs)، والخلايا غير المتبلورة a-Si و Micromorphous Si [40,41]، والخلايا الشمسية العضوية [42] .

البرنامج متاح مجانا لجميع البحوث الخاصة بالخلايا الكهروضوئية (المؤسسات ومعاهد البحث)، البرنامج يعمل على الكمبيوتر الشخصي تحت، Windows 95,98, NT, 2000, XP, Vista, Windows 7، ويشغل حوالي 50MB من مساحة القرص. في هذا العمل، نستخدم في عملنا هذا نظام المحاكاة SCAPS. SCAPS: هو برنامج محاكاة خلية شمسية ذات بعد واحد 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 [42]. ويمكنه محاكاة جهد الدائرة المفتوحة (V_{oc})، وكثافة التيار (J_{sc})، خصائصية J-V، معامل التعبئة (FF)، المردود الكمي (QE)، والمردود (η)، التوليد و إلتحام إلخ. ساهم العديد من الباحثين في تطويره مثل: أليكس نيميغيس، مارك بورجلمان، كوين ديوك، ستيفان ديغريف [42]. نذكر عدد قليل من ميزاته الرئيسية أدناه:

- ما يصل إلى 7 طبقات أشباه الموصلات.
 - يمكن إدخال جميع الإعدادات تقريبًا مع اختلافات متدرجة (في الاعتماد على تكوين الخلية وعمقها ، على سبيل المثال: $\chi, \varepsilon, \mu_p, \mu_n, V_{thn}, V_{thp}, N_A, N_D, N_v, N_c$ وجميع الفخاخ (العيوب N_t))
 - آليات إعادة التركيب: من نطاق إلى نطاق (مباشر) Auger ، SRH.
 - مستويات العيوب: في الحجم أو في الواجهة ، مع مراعاة حالات التحميل الخاصة بهم وإعادة التركيب على مستوياتهم .
 - مستويات العيوب ، نوع مستويات العيب: لا يوجد لعيب (محايد) ، أحادي التكافؤ (واحد فقط مانح ، متقبل) ، ثنائي التكافؤ (مانح مزدوج ، متقبل مزدوج ، مبتور) ، متعدد التكافؤ
 - مستويات العيب ، توزيع الطاقة: منفصل ، مستوى موحد ، Gauss ، تحت شكل الذيل أو مزيج .
 - مستويات العيوب ، الخاصية البصرية: من الممكن إثارة الضوء المباشر المعروف بتأثير الشوائب الضوئية .
 - مستويات الخلل والانتقال بين المستويات .
 - جهات الاتصال: أعمال إخراج المعادن أو نظام شريط مسطح ؛ خاصية بصرية (انعكاس أو انتقال) المرشح .
 - نفق بين النطاقات (في نطاق التوصيل أو في نطاق التكافؤ) نفق إلى أو من حالات الواجهة .
 - التوليد: من حساب داخلي أو من ملف $g(x)$ يقدمه المستخدم .
 - الإضاءة: تتوفر عدة أنواع من الطيف (AM0 ، AM1.5D ، AM1.5G ، الإصدار 2 AM1.5G ، أحادي اللون ، أبيض ، إلخ).
- إضاءة: على الجانب p أو n [42] .

III.1.1.2 إطلاق SCAPS :

انقر فوق الرمز أعلاه على سطح المكتب ، أو انقر نقرًا مزدوجًا فوق الملف SCAPS3200.EXE في مدير الملفات (أو في أي إصدار آخر من SCAPS يفتح SCAPS بلوحة الإجراءات) [42].

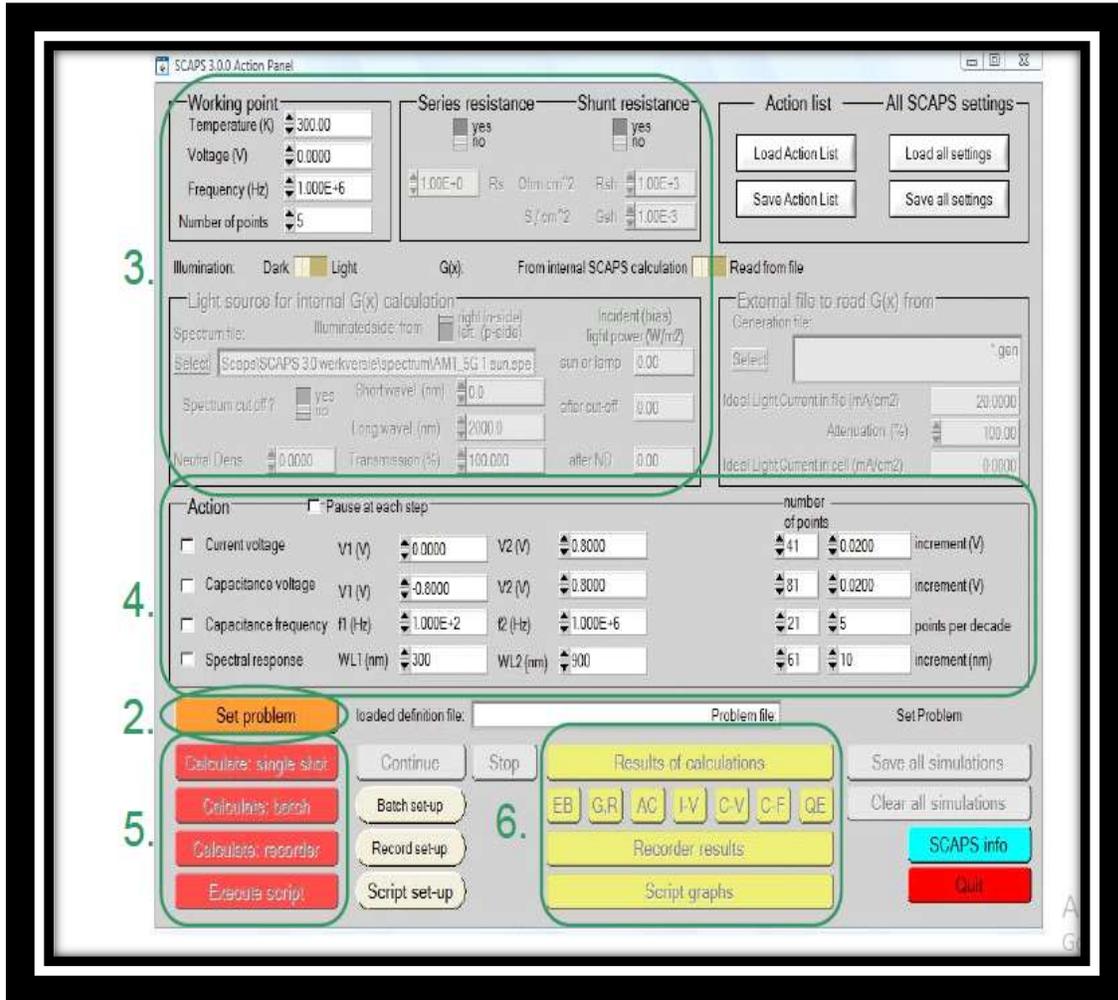
III.1.2.2 لوحة الرئيسية أو لوحة العمل (الأساسيات):

SCAPS هو برنامج مصمم للتشغيل على نظام Windows ،

تم تطويره بواسطة Instruments Lab Windows / CVI بواسطة SCAPS يتم فتح SCAPS مع رمز "لوحة العمل تظهر النافذة التي تفتح في الشكل (1.III) [19].

هناك لوحات مخصصة للإجراءات الأساسية:

1. قم بتشغيل SCAPS .
2. تحديد المشكلة وكذلك الهندسة والمواد وجميع خصائص الخلية الشمسية.
3. حدد الظروف التي يتم فيها تنفيذ المحاكاة (حدد نقطة عملية)



الشكل III. 1: لوحة بدء تشغيل SCAPS

4. وضع القياس للمحاكاة.

5. ابدأ الحساب (الحسابات).

6. عرض منحنيات المحاكاة (انظر القسم 6).

يتم شرح هذه الخطوات بمزيد من التفصيل أدناه [19]. اللوحة الرئيسية هي لوحة العمل. يسمح بتعيين المشكلة، لتعيين قائمة الإجراءات للحسابات المطلوبة، إلى تنفيذ العمليات الحسابية، للانتقال إلى لوحات أخرى، وحفظ النتائج ورسمها، والخروج من برنامج. بشكل عام، تتوفر العناصر التالية (كما هو موضح في Scaps Manuel على لوحة العمل) انظر الشكل (III. 1).

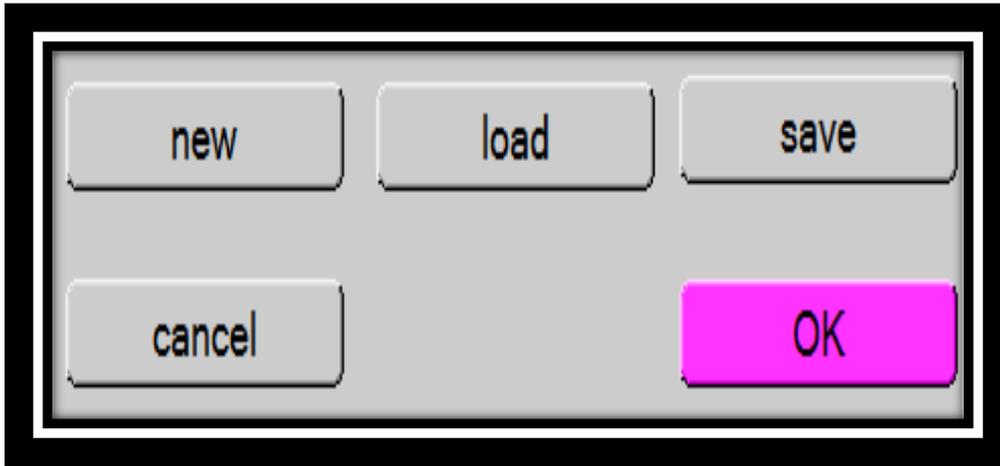
III. 3.1.2 اختيار الخصائص لمحاكاة:

في جزء لوحة العمل، يمكنك اختيار واحد أو أكثر من التدابير لمحاكاة: I-V و C-V و C-f و QE و λ و يمكننا أيضاً تعديل القيم الأولية والنهائية للوسيلة أيضاً من عدد الخطوات [42].

Set problem

III. 4.1.2 تحديد المشكلة:

نضغط على الزر SET PROBLEM في لوحة الإجراءات، ونختار LOAD in الزاوية اليمنى في أسفل اللوحة التي تفتح لاحقاً. نختار ونفتح (على سبيل المثال GaAs-Si.def) بعد ذلك، من الممكن تعديل جميع خصائص الخلية بالضغط على "تحديد المشكلة" في لوحة العمل. [42]

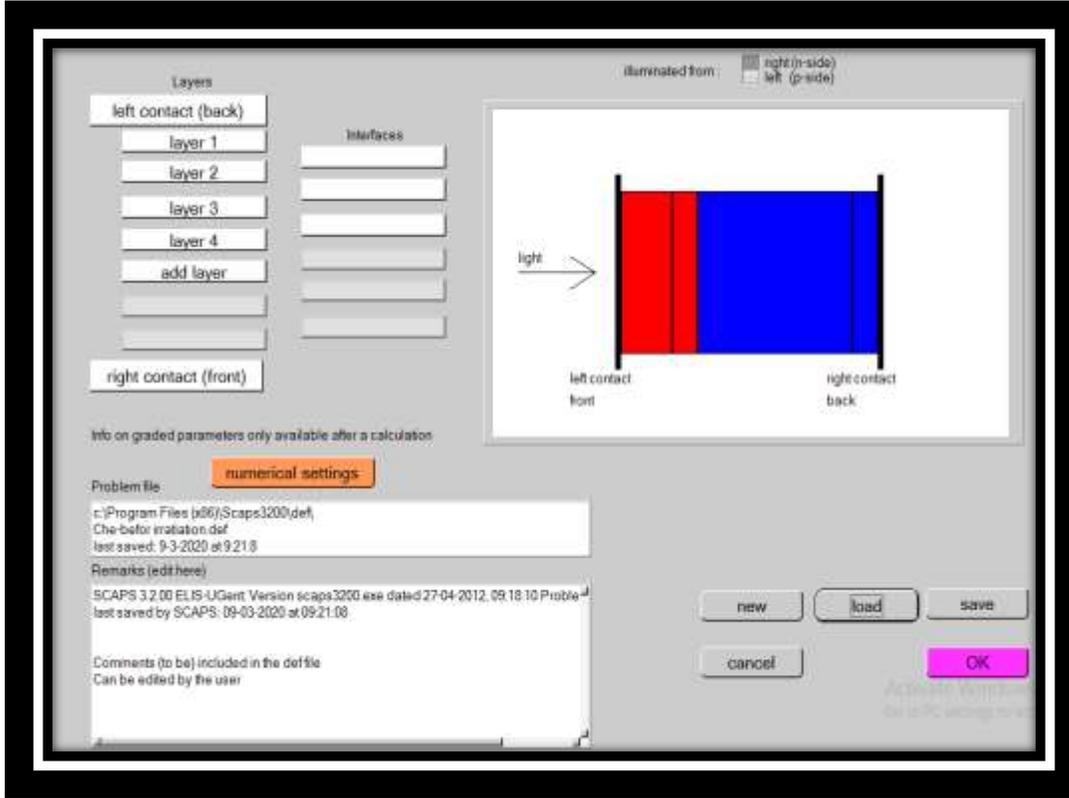


الشكل III. 2: تحديد المشكلة.

لتعريف المشكلة، نضغط على زر "تعيين المشكلة". نجد لوحة تعريف الخلايا الشمسية الشكل (III. 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:

- ✓ d السماكة (μm).
- ✓ E_g فجوة النطاق (eV)
- ✓ X تقارب الإلكترون (eV)
- ✓ ϵ_r السماحية العازلة (النسبية)
- ✓ N_c كثافة التوصيل ذات النطاق الفعال للحالات (cm^{-3})
- ✓ N_v كثافة التكافؤ الفعالة للحالات (cm^{-3})
- ✓ μ_n السرعة الحرارية للإلكترونية (cm/ s)
- ✓ μ_p السرعة الحرارية للثقوب (cm/ s)
- ✓ N_D الكثافة الحاملات للمانحات (cm^{-3})
- ✓ N_A الكثافة الحاملات للأخذات (cm^{-3})
- ✓ يمكن أخذ الامتصاص البصري لطبقات أشباه الموصلات من ملف مستخدم [43] .

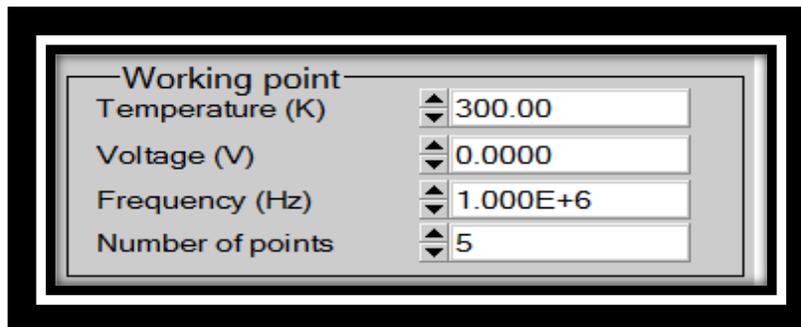


الشكل 3.III: نافذة تصميم الجهاز.

5.1.2.III تحديد نقطة العمل:

تحدد نقطة العمل والتي تتعلق بهذا القياس:

✓ درجة الحرارة T : مناسبة لجميع القياسات. ملحوظة: في SCAPS، فقط $N_C(T)$ و N_V والجهود الحراري kT هما المتغيران الوحيدان اللذان لهما صراحة الاعتماد على درجة الحرارة.



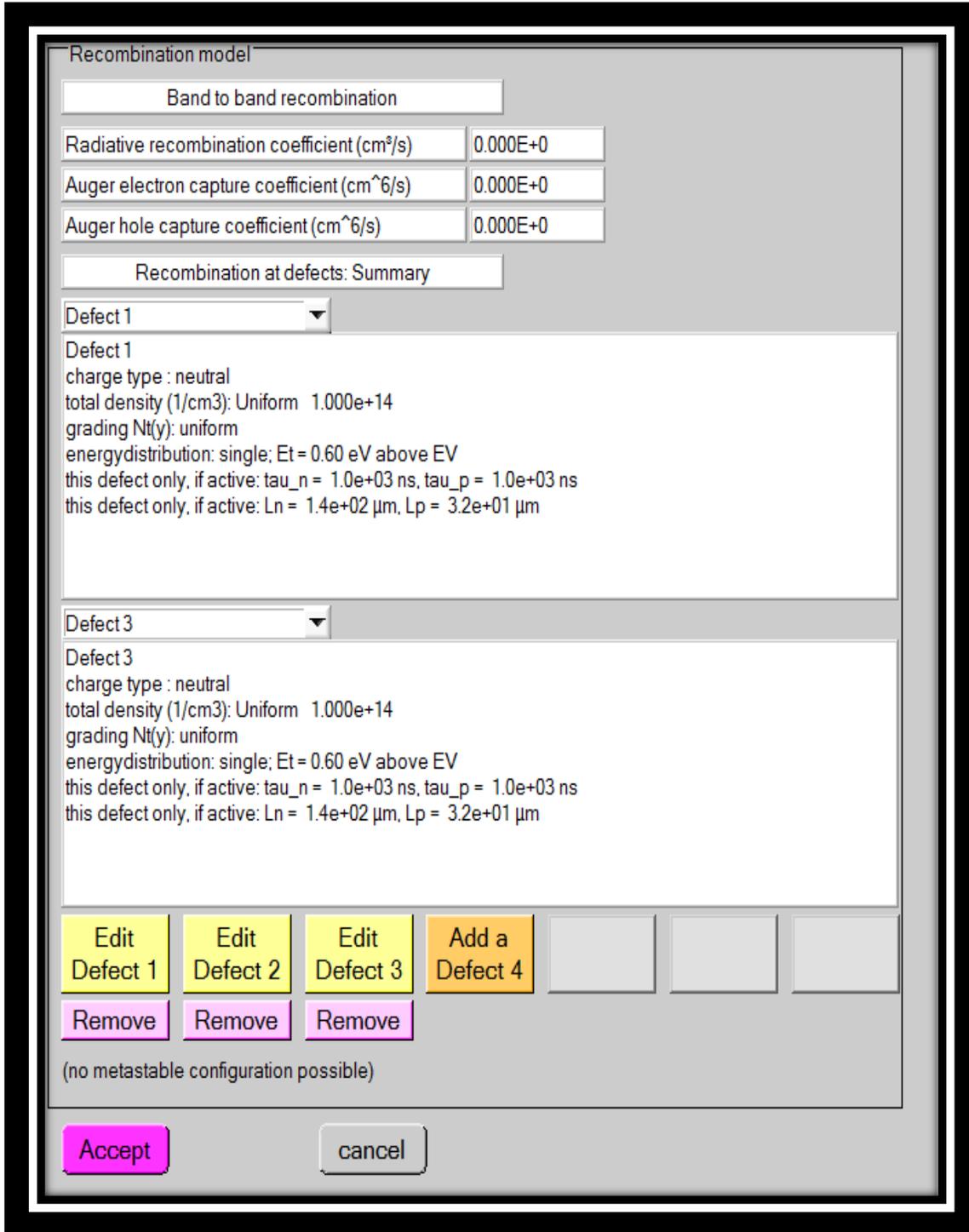
الشكل 4.III: نقطة التشغيل.

- ✓ الجهد V : يجب تحديده في محاكاة كل من $I - V$ و $C - f$, $C - V$, $QE(\lambda)$ يبدأ SCAPS دائماً من 0 فولت ، ويستمر عند جهد نقطة العمل في عدد من الخطوات التي يجب أن نحددها أيضاً.
- ✓ يجب تحديد التردد f : في محاكاة $I - V$ و $QE(\lambda)$ و $C - f$
- ✓ الإضاءة: تستخدم لقياس $QE(\lambda)$ ، الإعدادات الأساسية التي تحدد ظروف ضوء هي: مظلمة أو المضيئة، واختيار الجانب المضيء ، واختيار الطيف [42].

III.1.2.6 إضافة العيوب:

يمكن إدخال ما يصل إلى سبعة عيوب في طبقة أشباه الموصلات .الإعدادات تحكم كل عيب يمكن تعديله بالضغط على زر إضافة / تعديل [43,44]

الشكل(III.5) إضافة العيب، الشكل (III.6) لوحة خصائص العيب.



الشكل 5.III: إضافة العيوب.

Defect 1 of p+GaAs

defect type	Neutral
capture cross section electrons (cm ²)	6.000E-16
capture cross section holes (cm ²)	6.000E-18
energetic distribution	Single
reference for defect energy level Et	Above EV (SCAPS < 2.7)
energy level with respect to Reference (eV)	0.041
characteristic energy (eV)	0.100

no Nt grading (uniform)

Nt total (1/cm3) uniform Nt 5.000E+13

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:	

accept cancel

الشكل 6.III: لوحة خصائص العيب.

العيوب هي الأهم دراسة في SCAPS ، يتم تحديد العيوب بالمعلومات التالية:

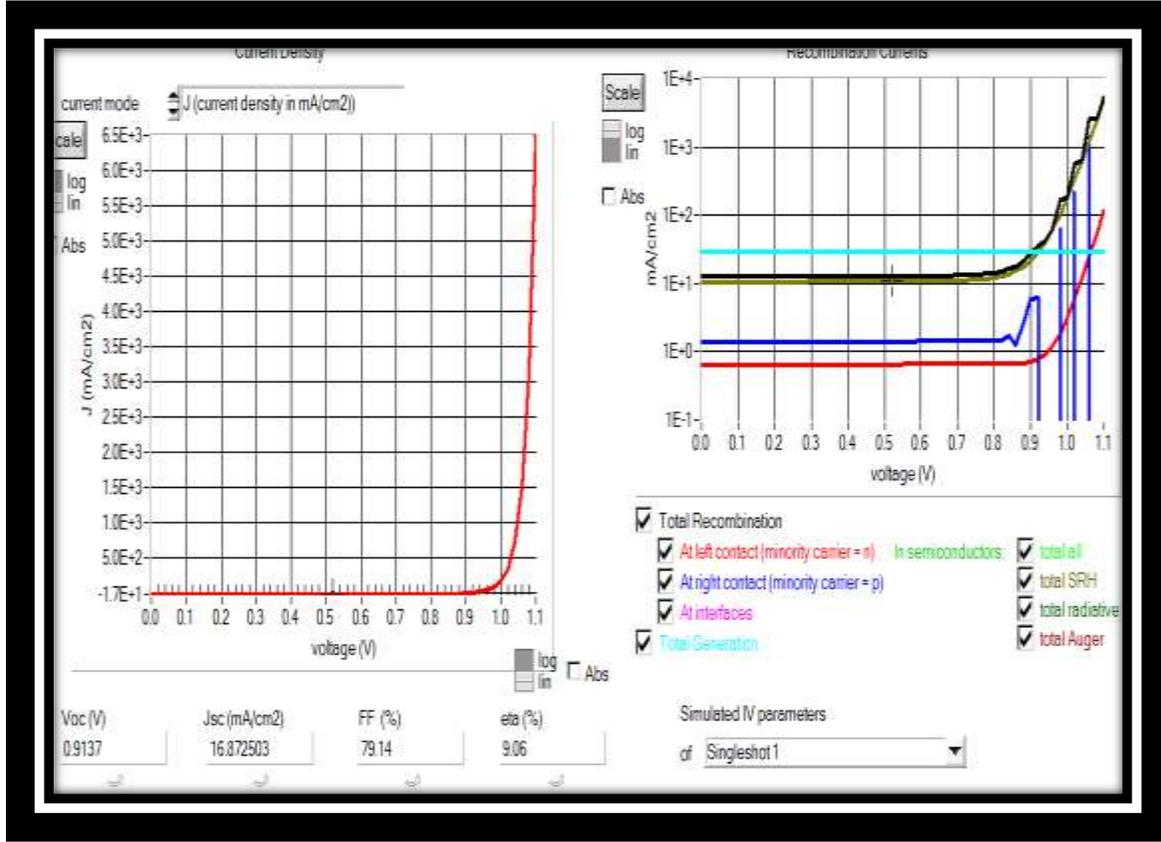
- مكانة مستوى الطاقة في الفجوة .
- نوع العيب (أي متقبل أو مانح أو محايد).
- المقطع العرضي الالتقاط الإلكتروني الحراري.
- المقطع العرضي لالتقاط ثقب الحراري .
- التوزيع النشط (فردى ، موحد ، ...).
- مرجع لعيوب الطاقة مستوى (فوق E_v أو E_c).
- المقطع العرضي الالتقاط البصري الإلكتروني .
- المقطع العرضي الالتقاط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

Calculate: single shot

2.2.III بدء الحساب:

1.2.2.III المنحنيات (IV) تحت الإضاءة:

لوحة عرض المنحنيات تحت الإضاءة الشكل (6.III). (يشير اللون إلى المنحنى الأخير المحسوب) عندما يكون الرسم البياني مزدحمًا للغاية ، انقر فوق مسح كل الرسوم في لوحة العمل). يتم عرض منحنيات معدلات إعادة التركيب فقط للمحاكاة الأخيرة. إذا كانت CURVE INFO قيد التشغيل وإذا نقرت على منحنى الرسم البياني ، فستظهر لوحة منبثقة ستظهر مع معلومات تتعلق بالرسم البياني والمنحنى والنقطة التي تم النقر عليها.

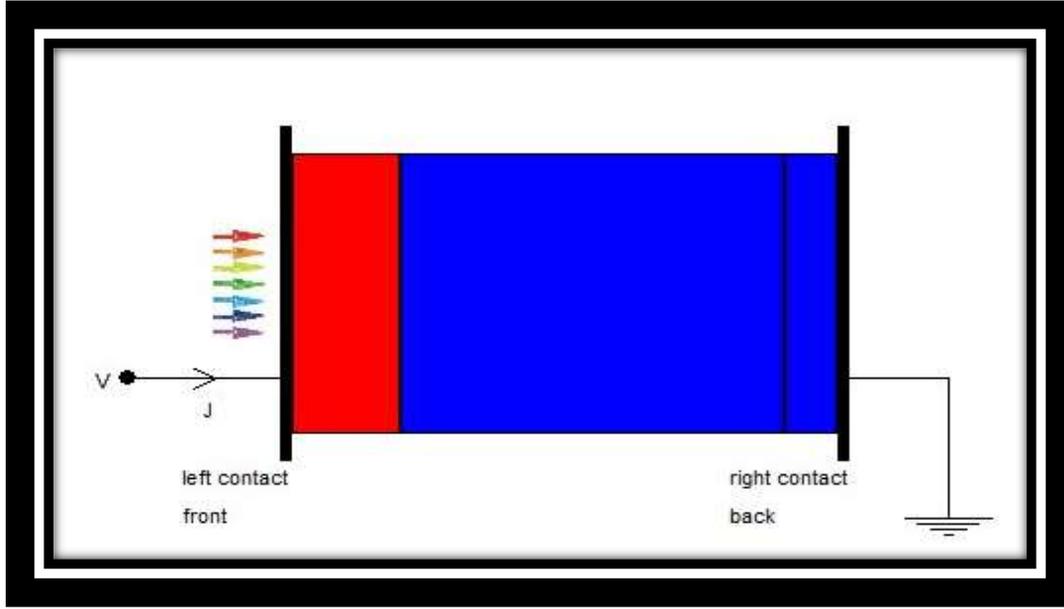


الشكل III . 7: لوحة عرض لمنحنيات IV تحت إضاءة.

III. 3 نتائج محاكاة تأثير مصائد الإلكترونات على الخلايا الشمسية غير المتجانسة:

III. 1.3 بنية الخلايا الشمسية (AlGaAs/GaAs) ، (GaAs/Si) ، (GaAs/Ge) المدروسة :

في هذا العمل سوف ندرس ثلاث انواع من الخلايا الشمسية وذلك بهدف معرفة ايها اكثر مقاومة للاشعاع النترونات , الخلايا الشمسية المدروسة : GaAs/GaAs/Si و AlGaAs/GaAs/GaAs و GaAs/GaAs/Ge وهي من نوع p+ /n /n+ الذي يظهر هيكله في الشكل (III.8) ، الإعدادات الخاصة بالمواد التي تم ادخالها في برنامج المحاكاة SCAPS هي الثوابت الخاصة بالمواد كما هو موضح في الجدول (III.1) وتلك الخاصة بالخلية الجدول (III.2) بالإضافة إلى خصائص العيوب المستعملة في هذا العمل و المقاسة تجريبيا موضحة في الجدول (III.3).



الشكل III.8: بنية الخلايا الشمسية (GaAs/Ge , AlGaAs/GaAs, GaAs/ Si).

الجدول III.1: إعدادات إدخال المواد في برنامج المحاكاة SCAPS.

إعدادات	تعريفها	AlGaAs	GaAs	Ge	Si
E_g (eV)	النطاق الممنوع	1.8	1.42	0.66	1.12
X(eV)	التقارب الإلكتروني	4.07	4.07	4.13	4.01
ϵ_r (F. cm^{-1})	السماحية النسبية	12.9	12.9	16	12
N_c (cm^{-3})	كثافة الحالات للإلكترونات	4.7×10^{17}	4.7×10^{17}	10^{19}	2.7×10^{19}
N_v (cm^{-3})	كثافة الحالات للثقوب	7×10^{18}	7×10^{18}	$\times 10^{18}$	1.1×10^{19}
μ_n ($cm^2/V.S$)	حركية الإلكترونات	8×10^3	8×10^3	4×10^3	1350
μ_p ($cm^2/V.S$)	حركية الثقوب	4×10^2	4×10^2	1×10^3	480

الجدول 2.III: التطعيم والسّمك بالنسبة للخلايا الثلاث (p+/n/n+) بسّمك إجمالي 5 µm.

	المنطقة p+	المنطقة n	المنطقة n+
التطعيم (cm^{-3})	10^{18}	5×10^{16}	10^{19}
السّمك (µm)	1µm	3.5µm	0.5µm

الجدول 3.III: خصائص العيوب المستعملة في هذا العمل و المقاسة تجريبيا [47].

العيوب	E_t^a (eV)	$\sigma_n \times 10^{-15} (cm^2)$	$k_t (cm^{-1})$
E_{n1}	0.041	0.6	1
E_{n2}	0.141	120	1.5
E_{n3}	0.34	250	1
E_{n4}	0.36	3.7	1
E_{n5}	0.73	6000	10

2.3.III نتائج محاكاة الخلايا الشمسية المدروسة قبل التعرض للإشعاع:

في هذا العمل قمنا بدراسة ثلاث خلايا شمسية من انواع مختلفة من المواد الا انها متماثلة كلها من حيث السّمك والتطعيم وذلك لكي تكون المقارنة فيما بينها منصفة وعادلة. يتم تلخيص نتائج المحاكاة قبل التعرض للإشعاع في الجدول (4.III).

الجدول 4.III: خصائص الخلية الخارجية قبل التعرض للإشعاع.

	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF (%)	η (%)
GaAs/Si	27.47	0.996	87.88	17.69
GaAs/Ge	27.66	0.994	87.87	17.57
AlGaAs/GaAs	28.60	1.11	82.45	19.30

عند القيام بالمحاكاة بواسطة برنامج scaps للخلايا الثلاث وإستخراج الخصائص الكهربائية الخارجية لهذه الخلايا ، بالنسبة للخلية AlGaAs/GaAs نلاحظ أن تيار الدارة القصيرة جهد الدارة المفتوحة والمردود تبلغ قيمها 28.60 mA/cm^2 ، 1.11 V ، 19.30% على التوالي ، وهي أكبر مما هي عليه بالنسبة للخلايا GaAs/Si و GaAs/Ge اما بالنسبة لمعامل الشكل فأكبر قيمة وجدت هي للخلية GaAs/Si بحيث بلغت قيمته $FF=82.45\%$ ، وكما نلاحظ أن قيم كلا من معامل الشكل وجهد الدارة المفتوحة والمردود بالنسبة للخلية GaAs/Si تكون أكبر مما هي عليه بالنسبة للخلية GaAs/Ge على عكس تيار الدارة القصيرة فان قيمته تكون أكبر في الخلية GaAs/Ge مقارنة بالخلية GaAs/Si

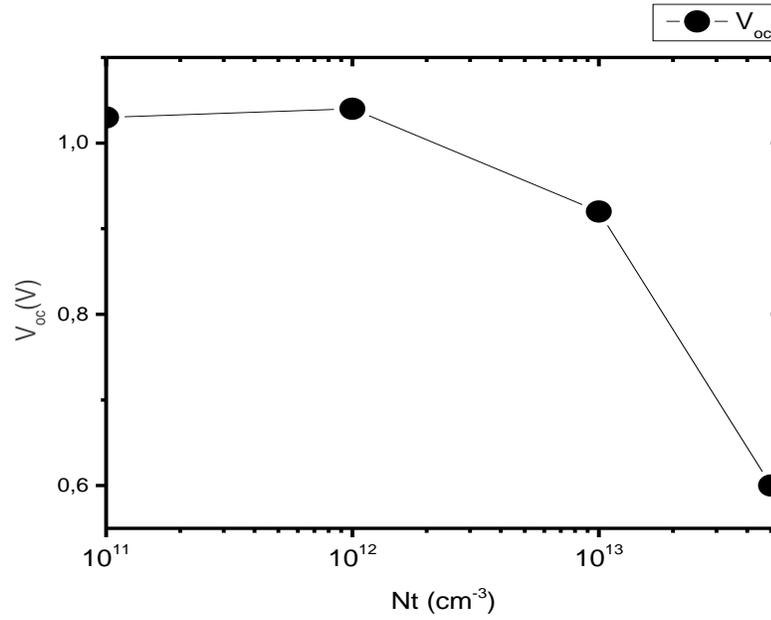
III. 3.3 تأثير مصائد الإلكترونات على الخلايا الشمسية AlGaAs/GaAs:

نعلم ان الخلية الشمسية عند تعرضها للاشعاع الشمسي تنشأ بها عيوب هذه الاخيرة تعمل على تدهور الخصائص الخارجية للخلية الشمسية ولهذا الصدد سوف ندرس تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية $p^+AlGaAs/n-GaAs/n^+GaAs$ بحيث سنستعمل الخصائص المتعلقة بمستويات العيوب والمتمثلة في الموقع الطاقى للعيوب E_t مع المقاطع العرضية للإلتقاط (الناقلية النوعية للإلكترونات) σ_n نشير الى ان قيم هذه الاخيرة موضحة في الجدول (III.3) وهي عبارة عن قيم تجريبية [48]. الجدول (5.III) يوضح نتائج تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على خصائص الخروج للخلية الشمسية AlGaAs/GaAs. كما توضح كل من الاشكال (10.III) ، (11.III) ، (12.III) (9.III) تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على جهد الدارة المفتوحة وتيار الدارة القصيرة ومعامل الشكل وكذا المردود على الترتيب.

الجدول 5.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على خصائص الخروج للخلاية الشمسية

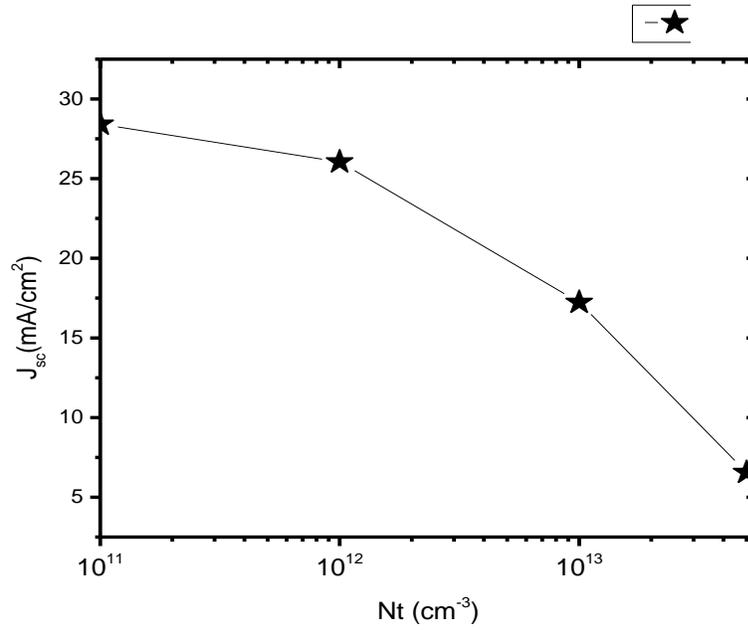
.AlGaAs/GaAs

$N_t(\text{cm}^{-3})$	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
10^{11}	1.03	28.42	80.76	18.45
10^{12}	1.04	26.05	71.70	14.73
10^{13}	0.92	17.23	53.29	6.22
5×10^{13}	0.60	6.51	52.83	2.03



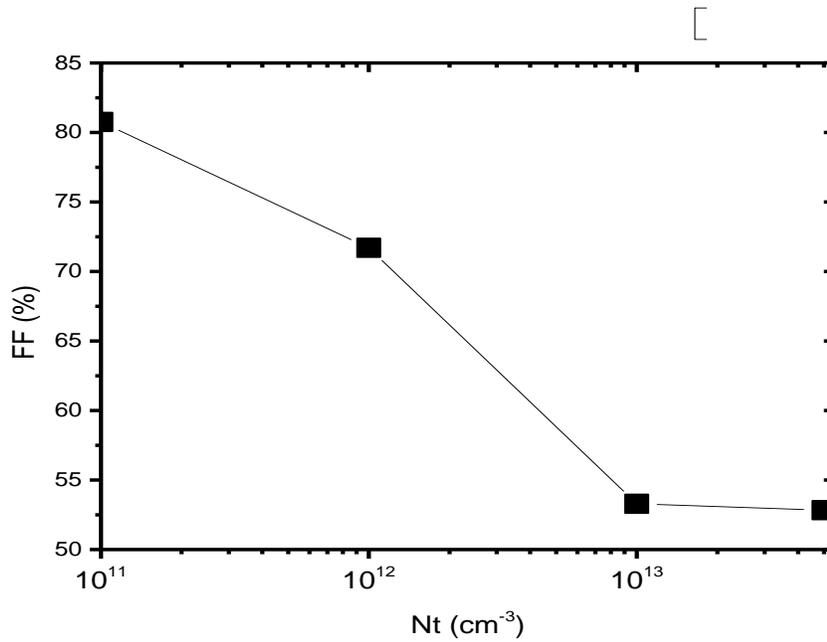
الشكل 9.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على جهد الدارة المفتوحة (V_{oc}) للخلاية الشمسية

.AlGaAs/GaAs



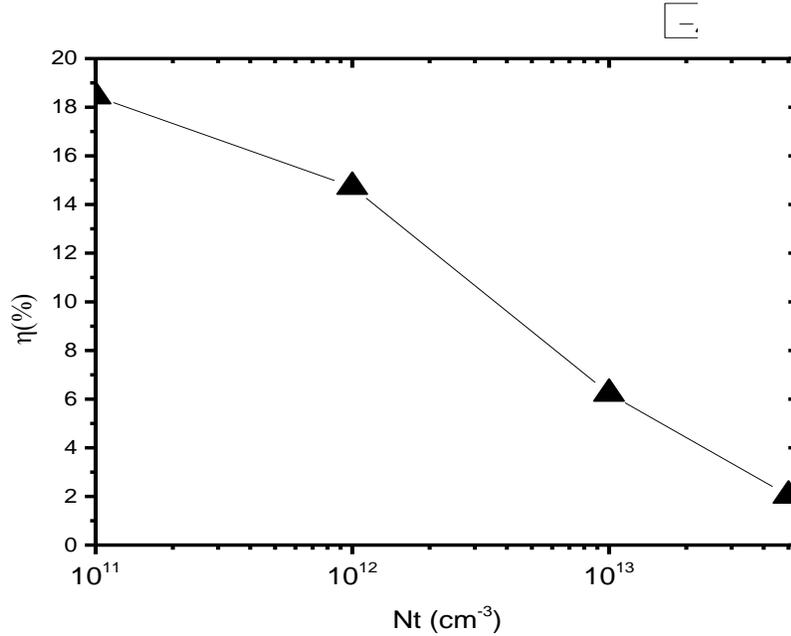
الشكل 10.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على تيار الدارة القصيرة (J_{sc}) للخلايا الشمسية

AlGaAs/GaAs



الشكل 11. III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على معامل الشكل (FF) للخلايا الشمسية

AlGaAs/GaAs



الشكل III. 12: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على المردود (η) للخلايا الشمسية AlGaAs/GaAs.

نلاحظ من خلال النتائج الموضحة في الجدول (5.III) انه كلما زادت قيمة كثافة العيوب ابتداء من القيمة 10^{11} cm^{-3} الى غاية القيمة $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ، تناقصت قيم الخصائص الخارجية للخلايا الشمسية وبشكل كبير جدا بحيث جهد الدارة المفتوحة و تيار الدارة القصيرة ومعامل الشكل وكذا المردود تتناقص قيمهم من 1.03 V , 28.42 mAcm^{-2} , 80.76% الى غاية 0.60 V , 6.51 mAcm^{-2} , 2.03% على التوالي.

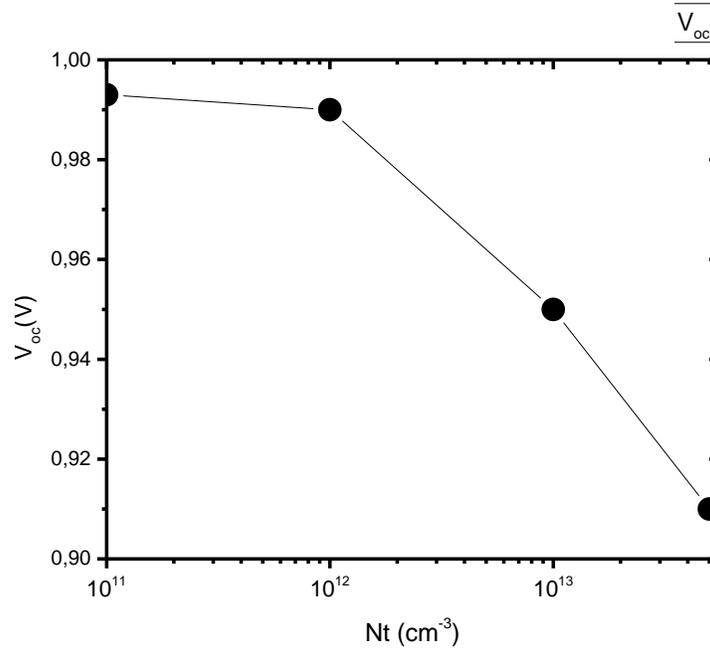
III. 4.3 تأثير مصائد الإلكترونات على الخلايا الشمسية GaAs/Si :

في هذا الجزء سنتطرق الى دراسة نوع اخر من الخلايا الشمسية والمتمثلة في GaAs/Si بحيث سنعمل على دراسة تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية $p^+ \text{GaAs}/n\text{-GaAs}/n^+ \text{Si}$ بحيث سنستعمل الخصائص المتعلقة بمستويات العيوب والمتمثلة في الموقع الطاقى للعيوب E_t مع المقاطع العرضية للإلتقاط (الناقلية النوعية للإلكترونات) σ_n تشير الى ان قيم هذه الاخيرة موضحة في الجدول (3.III) وهي عبارة عن قيم تجريبية [47] . وهي نفسها التي استعملناها وطبقناها على الخلايا السابقة . نتائج محاكاة تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على خصائص الخروج للخلايا الشمسية تجدونها ملخصة في الجدول (6.III) . كما توضح كل من الاشكال (14.III) , (15.III)

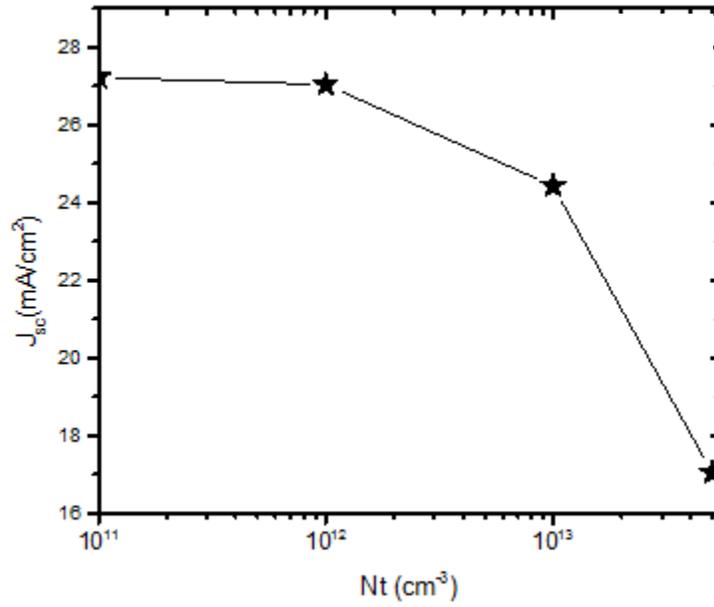
(16.III), (13.III) تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على جهد الدارة المفتوحة و تيار الدارة القصيرة ومعامل الشكل وكذا المردود على الترتيب.

الجدول 6.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على خصائص الخروج للخلايا الشمسية GaAs /Si.

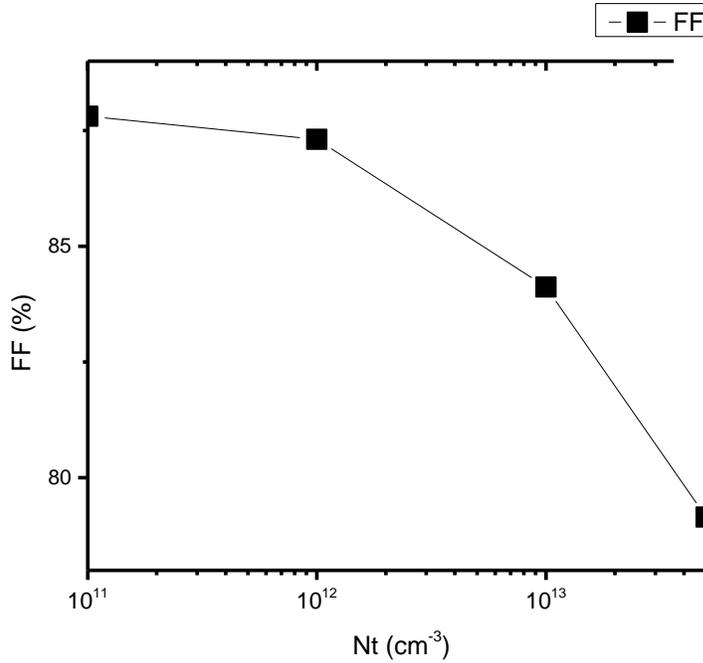
$N_t(\text{cm}^{-3})$	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
10^{11}	0.99	27.44	87.70	17.62
10^{12}	0.98	27.14	86.33	17.04
10^{13}	0.94	24.45	81.37	13.86
5×10^{13}	0.905	15.80	77.39	8.29



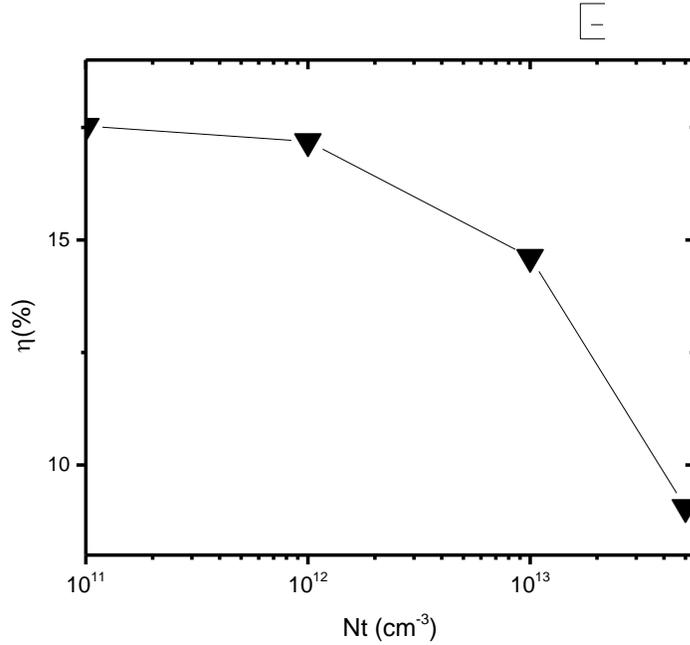
الشكل 13. III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على جهد الدارة المفتوحة (V_{oc}) للخلايا الشمسية Si/GaAs.



الشكل 14.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على تيار الدارة القصيرة (J_{SC}) للخلية الشمسية Si/GaAs.



الشكل 15.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على معامل الشكل (FF) للخلية الشمسية Si/GaAs.



الشكل III.16: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على المردود (η) للخلايا الشمسية Si/GaAs.

نلاحظ من خلال النتائج المتحصل عليها بواسطة المحاكاة و الموضحة في الجدول (III.6) ان هناك تناقص في قيم الخصائص الخارجية للخلايا الشمسية بحيث جهد الدارة المفتوحة يتناقص من 0.99 V الى 0.86 V وتيار الدارة القصيرة يتناقص من 27.44 mAcm⁻² الى 15.80 mAcm⁻² و معامل الشكل يتناقص من 87.7 الى 77.39 وكذا المردود يتناقص من 17.62 الى غاية 8.29 % كلما زادت قيمة كثافة العيوب ابتداء من القيمة 10¹¹ cm⁻³ الى غاية القيمة 5 × 10¹³ cm⁻³

III. 5.3 تأثير مصائد الإلكترونات على الخلايا الشمسية GaAs/Ge :

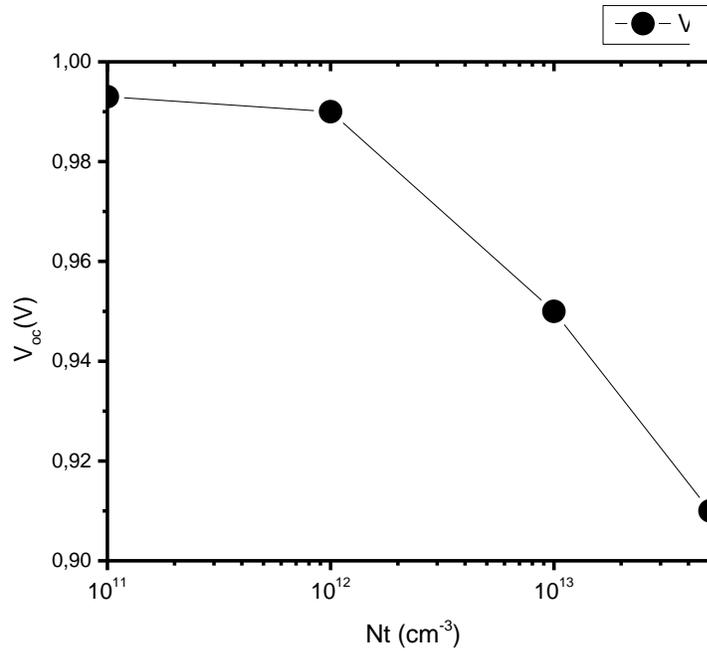
في هذا الجزء سنتطرق الى دراسة نوع اخر من الخلايا الشمسية والمتمثلة في GaAs/Ge بحيث سنعمل على دراسة تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية

p⁺GaAs/n-GaAs/n⁺Ge بحيث سنستعمل الخصائص المتعلقة بمستويات العيوب والمتمثلة في الموقع الطاقى للعيوب E_t مع المقاطع العرضية للإلتقاط (الناقلية النوعية للإلكترونات) σ_n نشير الى ان قيم هذه الاخيرة موضحة في الجدول (III.3) وهي عبارة عن قيم تجريبية [47]. وهي نفسها التي استعملناها وطبقناها على الخلايا السابقة. نتائج محاكاة تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على خصائص الخروج للخلايا

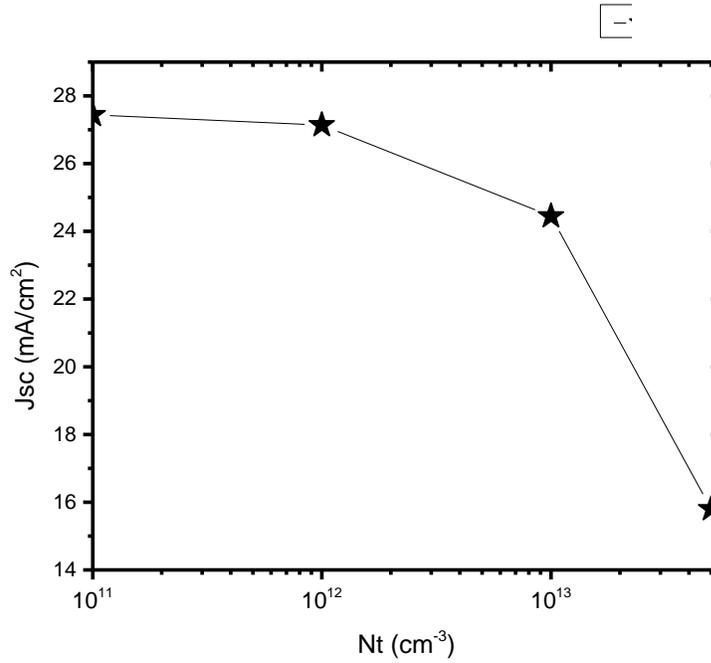
الشمسية تجدونها ملخصة في الجدول (7.III) كما توضح كل من الاشكال , (18.III), (19.III) (20.III), (17.III) تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على جهد الدارة المفتوحة و تيار الدارة القصيرة ومعامل الشكل وكذا المردود على الترتيب .

الجدول 7.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على خصائص الخروج للخلية الشمسية GaAs/Ge.

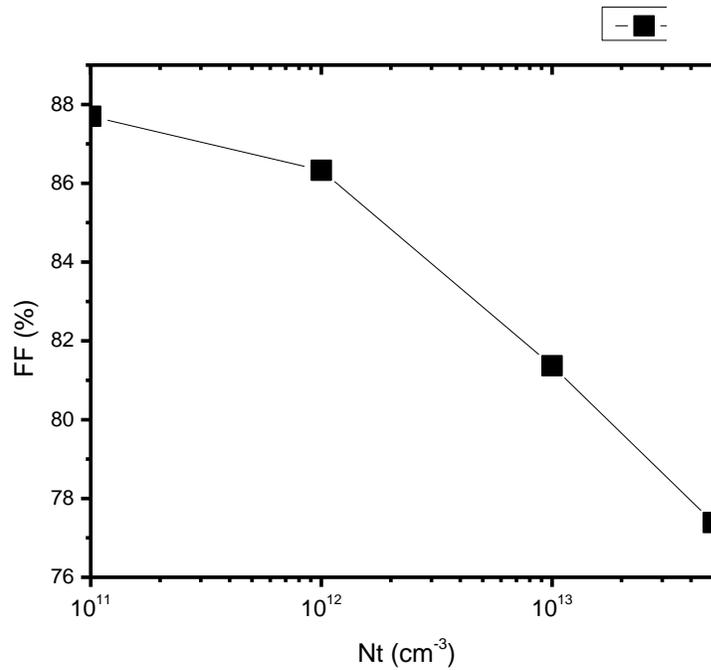
$N_t(\text{cm}^{-3})$	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)
10^{11}	0.993	27.33	87.81	17.53
10^{12}	0.990	27.04	87.31	17.19
10^{13}	0.95	24.43	84.12	14.62
5×10^{13}	0.91	17.04	79.15	9.06



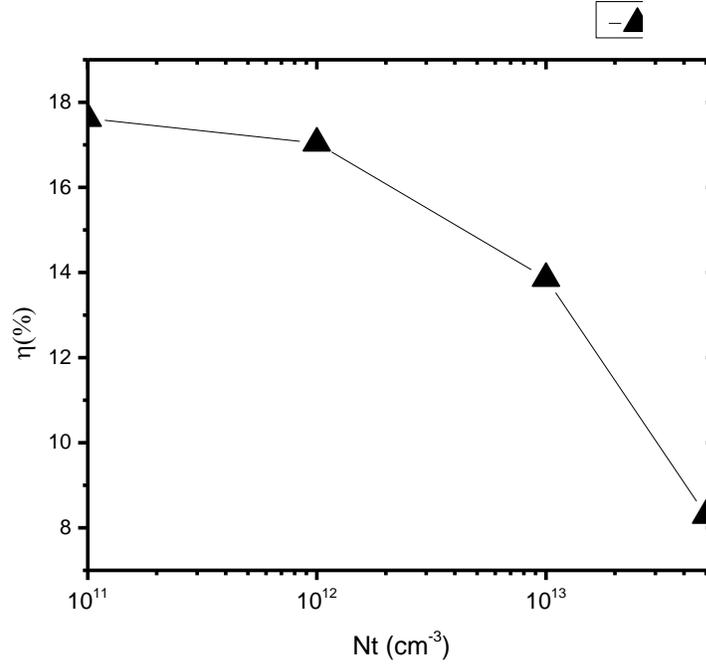
الشكل 17.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على جهد الدارة المفتوحة (V_{oc}) للخلية الشمسية GaAs/Ge.



الشكل 18.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على تيار الدارة القصيرة (J_{sc}) للخلية الشمسية Ge/GaAs.



الشكل 19.III: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على معامل الشكل (FF) للخلية الشمسية Ge/GaAs.



الشكل III.20: تأثير كثافة مصائد الإلكترونات على المردود (η) للخلية الشمسية GaAs/Ge.

من النتائج، نلاحظ أن جميع خصائص الإخراج للخلايا الشمسية GaAs/Ge تظهر انخفاضا كبيرا و المتمثل في جهد الدارة المفتوحة V_{oc} و تيار الدارة القصيرة J_{sc} ومعامل الشكل FF والمردود η مع زيادة كثافة مصائد الإلكترونات. تؤدي الزيادة في كثافة مصائد الإلكترونات من القيمة 10^{11} cm^{-3} الى غاية القيمة $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ إلى انخفاض تيار الدارة القصيرة من 27.33 mA/cm^2 إلى 17.04 mA/cm^2 ، جهد الدارة المفتوحة يتناقص من 0.99 V الى 0.91 V ومعامل الشكل يتناقص من 87.81 الى 79.15 وكذا المردود يتناقص من 17.53 الى غاية 9.06 %.

III. 6.3 المقارنة بين الخلايا الثلاث (GaAs/Ge·GaAs/Si·AlGaAs/GaAs):

من النتائج، نلاحظ أن جميع خصائص الإخراج للخلايا الشمسية GaAs/Ge، AlGaAs/GaAs، GaAs/Si تظهر انخفاضا كبيرا و المتمثل في جهد الدارة المفتوحة V_{oc} و تيار الدارة القصيرة J_{sc} ومعامل الشكل FF والمردود η مع زيادة كثافة المصيدة العميقة للإلكترونات N_t . تؤدي الزيادة في كثافة مصائد الإلكترونات إلى انخفاض عمر الحاملات الأقلية و بالتالي انخفاض الشحنة على الأقطاب الكهربائية و تدهور

أداء الخلايا الشمسية. كفاءة التحويل أو المردود هو أكثر خاصية حساسة، في حين أن معامل الشكل هو الأقل حساسية.

تدهور تيار الدارة المفتوحة من 27.44 mA/cm^2 إلى 15.80 mA/cm^2 بالنسبة للخلية Si/GaAs و 28.42 mA/cm^2 إلى 6.51 mA/cm^2 بالنسبة للخلية AlGaAs/GaAs اما الخلية Ge/GaAs فتدهور يكون من 27.33 mA/cm^2 إلى 17.04 mA/cm^2 ، نظرا لأن كثافة التيار تتناسب مع معدل التوليد G ومعدل الإلتحام U، تقل كفاءة التحويل من % 17.62 الى % 8.29 للخلية Si/GaAs و % 17.53 إلى % 9.06 للخلية Ge/GaAs و % 18.45 إلى % 2.03 بالنسبة للخلية AlGaAs/GaAs .

بعد دراسة الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية ذات الوصلات غير المتجانسة: AlGaAs/GaAs، GaAs/Si، GaAs/Ge، فإن الخصائص الكهربائية الخارجية للخلايا الشمسية تتناقص مع زيادة كثافة مصائد الإلكترونات وخاصة المردود، وبالمقارنة بين الخلايا الثلاث نلاحظ أن تيار الدارة القصيرة وجهد الدارة المفتوحة والمردود قبل التعرض للإشعاع للخلايا الشمسية AlGaAs/GaAs هو الأكبر بقيمة 28.60 mA/cm^2 ، 1.11 V ، % 19.30 على التوالي، أما بالنسبة لمعامل الشكل للخلايا GaAs/Si هو الأكبر بقيمة % 87.88.

عند التعرض لإشعاع النيوترون وبتراكيز مختلفة لكثافة مصائد الإلكترونات، نلاحظ أن الخصائص الكهربائية للخلايا GaAs/Ge هي الأكبر حيث تبلغ هذه الخصائص عند قيمة أكبر كثافة لمصائد الإلكترونات $V_{oc} = 0.91 \text{ V}$ ، $FF = 79.15\%$ ، $J_{sc} = 17.04 \text{ mA/cm}^2$ ، $\eta = 9.06\%$ ، في حين أن هذه الخصائص بالنسبة للخلايا الشمسية GaAs/Si أكبر منه في الخلية AlGaAs/GaAs حيث تبلغ

$J_{sc} = 15.80 \text{ mA/cm}^2$ ، $FF = 77.99\%$ ، $\eta = 8.29\%$ ، $V_{oc} = 0.86 \text{ V}$ بالنسبة للخلايا GaAs/Si و $J_{sc} = 6.51 \text{ mA/cm}^2$ ، $FF = 52.83\%$ ، $\eta = 2.03\%$ ، $V_{oc} = 0.60 \text{ V}$ بالنسبة للخلايا AlGaAs/GaAs. و بالتالي الخلية GaAs/Si أحسن من الخلية AlGaAs/GaAs عند التعرض لإشعاع النيوترون. وفي الاخير نستنتج ان الخلية الشمسية GaAs/Ge هي الاكثر مقاومة للاشعاع مقارنة بالخلايا الشمسية الأخرى.

الخلاصة العامة

الخلاصة العامة:

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية غير المتجانسة $p^+/n/n^+$ ذات الهيكل $GaAs/Ge, GaAs/Si, AlGaAs/GaAs$ تحت إضاءة AM0 بواسطة برنامج المحاكاة المتطور 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 المحاكاة الأكثر تطورا في دراسة الخلايا الشمسية. مع العلم أن الإشعاع يدخل مستويات عميقة في المنطقة النشطة للخلايا الشمسية. لقد درسنا تأثيرها على سلوك الخلايا الشمسية، هناك العديد من العيوب التي تم إنشاؤها في المنطقة النشطة (القاعدة من نوع p) العيوب المانحة والآخذة ومراكز التوليد والإلتحام، تساهم المصائد الأغلبية فقط في تقليل عمر الحاملات الأقلية وبالتالي فإن الحاملات الأقلية هي المسؤولة على سلوك الخصائص الكهربائية الخارجية، في دراستنا ركزنا على تأثير هذه المصائد على الخصائص الكهربائية للخلايا $GaAs/Ge, GaAs/Si, AlGaAs/GaAs$.

بعد الإطلاع على نتائج الدراسة للخلايا الشمسية $GaAs/GaAs/Si$ و $AlGaAs/GaAs/GaAs$ و $GaAs/GaAs/Ge$ تحت تأثير كثافة مصائد الإلكترونات. بعد الإطلاع على النتائج نستنتج أن : الخصائص الكهربائية الخارجية للخلية الشمسية (جهد الدارة المفتوحة، تيار الدارة القصيرة، معامل الشكل، والمردود) تتناقص بازدياد كثافة مصائد الإلكترونات ويعتبر المردود أكبر الخصائص %2.03 للخلية $AlGaAs/GaAs$ و %9.06 للخلية $GaAs/Ge$ و %8.29 للخلية $GaAs/Si$ ، بالنسبة لأحسن تيار للدارة القصيرة فهو للخلية $GaAs/Ge$ حيث يبلغ 17.04 mA/cm^2 ، معامل الشكل لا ياتر بشكل كبير حيث تبلغ أكبر قيمة عند الخلية $GaAs/Ge$ %79.15، جهد الدارة المفتوحة 0.91 V لهذه الخلية. يعود السبب في التناقص لهذه الخصائص إلى تأثير كثافة مراكز الإلكترونات على الخلايا الشمسية التي تعد عيوب بنوية في المنطقة النشطة للخلية.

لاحظنا أخيرا أن الخصائص الكهربائية التي تقدمها الخلية $GaAs/Ge$ افضل من التي تقدمها الخليتان $GaAs/Si$ و $AlGaAs/GaAs$ عند التأثير بكثافة مصائد الإلكترونات الناتجة عن إشعاع النيترونات.

المراجع

المراجع

- [1] Y. El Gmili, "Étude et caractérisations par cathodoluminescence de couches minces d'InGaN pour le photovoltaïque", Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, (2013).
- [2] Z. Biskri , "Prediction a partir des différentes phases cristallines des propriétés physiques et mécaniques des ceramiques dentaires", Thèse de Doctorat , Université Freres Mentouri Constantine 1, (2017).
- [3] M. Burgelman, P. Nollet, S. Degrave, "Modelling polycrystalline semiconductor solar cells", Thin Solid Films, 361, 527-532, (2000).
- [4] H. T. Grahn, "Introduction to semiconductor physics", World scientific publishing, London, P.1-10, (2001).
- [5] R. A. Smith, "Semiconductors", Cambridge University Press, England, (1987).
- [6] A. Z. Moshfegh, H. V. Kanel, S. C. Kashyap and M. Wuttig, "Physics and technology of thin films", World scientific publishing, London, P.1-10 (2003).
- [7] مذكرة تخرج و. بن علي، ص. بوشول، "تحضير ودراسة الأغشية الرقيقة لكبريتيد الكاديوم (CdS) المرسبة بطريقة الحمّام الكيميائي (CBD)", جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي، 2018.
- [8] M. Mounic, "Semiconductors", Foucher, (1972).
- [9] A. Chovet, "physique des semi-conducteurs", Ecole Polytechnique Universitaire de Marseille, (2005).
- [10] R. Castagné et all, "Circuits intégrés en arséniure de Gallium" , Physique technologie
- [11] م. قعق، "الإلكترونيات الأساسية"، جامعة دمشق، دمشق، ص. 299 – 317. 2015.
- [12] A. N. Doral, "Semiconductor Physics and devices", IrWin, USA, (1992).
- [14] http://www.optiqueingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M05_C02/co/Contenu_03.html
- [13] S. Chala, " Design and investigate of II-VI thin film solar cells Conception et investigation des cellules solaires en couches minces II-VI " , These de Doctorat, Université Mohamed Khider Biskra, (2017).
- [15] P. S. KIREEV, "Semiconductor physics", Publishers Moscow, P.16-331, (1978).
- [16] A. G. NILENS, "Deep impurity in Semiconductor", Wiley inter science publication, New Jersey, (1973).
- [17] <https://lewebpedagogique.com/estechno/files/2016/02/LA-JONCTION>.

- [18] A. Aouina, "Role du rayonnement dans l'élaboration et l'étude de nano agrégats semi-conducteurs de ZnS", Thèse de Magister, Université Mentouri Constantine, (2010).
- [19] A. Bali, "Etude comparative entre les cellules solaire de type p+-AlGaAs/ p-GaAs /n-GaAs et une autre de type n+-AlGaAs/n-GaAs/p-GaAs", Mémoire de magistere, Université Mohamed Khider Biskra,
- [20] H. Mathieu , H. Fanet , "Physique des semiconducteurs et des composants électroniques", Dunod, Paris, (2009).
- [21] G.Fishman , "Semi-conducteur :les bases de la théorie K.p",éditions de l'école Polytechnique-Avril 2010, 91128 Palaiseau Cedex ,ISBN978-2-7302-1497-1
- [22] F.D.Auret,S.A.Goodman,G.Myburg,andW.O.Barnard,"Electrical characterization of neutron irradiation induced defects in undoped epitaxially grown n-GaAs",J.Appl.Phys,Vol.74 ,No.7,1 october 1993.
- [23] I. Mallem, "Simulation des cellules solaires hétérojonction Si-SiGe par SILVACO", These de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, (2014).
- [24] A.Haug, "Auger recombination in direct-gap semiconductor :band-structure effects", J.Phy.C:Soli Stat Phys,16, 4159, (1983).
- [25] H.J. Hovel, "Semiconductors and Semimetals: Solar Cells", Academic Press, New York, (1975).
- [26] W. DIB, "Modelisation des structures photovoltaïques aspects fondamentaux et appliques", These de doctorat, Universite Abou bekr belkaïd de Tlemcen, (2010).
- [27] S. Mostefa Kara, "Etude et simulation de cellules photovoltaïques a couches minces a base de CIS et CIGS", Mémoire de Magistere, Université Abou Bekr Blekaïd Tlemcen, (2012).
- [28] V.S. Vavilov, "Effects of Radiation on Semiconductors", Consultants Bureau, New York, (1965).
- [29] National Aeronautics and Space Administration, Solar Cell Radiation Handbook, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, (1989).
- [30] S.R. Wenham, M.A. Green, M.E. Watt, R. Corkish, —Applied photovoltaics, Earthscan UK USA, (2007).
- [31] <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>, NREL: Reference Solar Spectrum Irradiance, (2016).

- [32] P .A. Nwofe, “Deposition and Characterisation of SnS Thin Films for Application in Photovoltaic Solar Cell Devices”, these of Doctorate, University of Northumbria at Newcastle, (2013).
- [33]A. KHADIR, “Conception d’ un transistor bipolaire à base de Si/SiGe par SILVACO”, These de Doctorat, Université Med Khider Biskra, (2019).
- [34] S. Mihi, “Comparaison par simulation numérique entre les caractéristiques électriques d'une cellule solaire en Si et une autre en Si intégré sur un substrat en GaAs”, Mémoire de Master, Université Med Khider Biskra, (2012).
- [35] A. Hamache, “Study of the type inversion of the semiconducteur in irradiated Solar cells”, these of Doctorate, Université Med Khider Biskra, (2018).
- [36] A. Mahfoud, “Modélisation des cellules solair tandem à couche minces et à haut rendement”, these of Doctorate, Université Setif, (2015).
- [37] A. Kitai, “ Principles of Solar Cells, LEDs and Diodes: The role of the PN junction”, First Edition. © 2011 John Wiley & Sons, Ltd. Published by John Wiley & Sons, Ltd, (2011).
- [38] D.A. Clugston, P.A. Basore, “PC1D version 5: 32-bit solar cell modelling on personal computers”, Conference Record of the 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 207–210, (1997).
- [39] H. Zhu, A.K. Kalkan, J. Hou, S.J. Fonash, “Applications of AMPS-1D for Solar Cell Simulation”, AIP Conference Proceedings 462, 309, (1999).
- [40] B. E. Pieters, J. Krc, M. Zeman, “Advanced numerical simulation tool for solar cells-ASA5,” in Proceedings of the Conference Record on 4th WCPEC, 2,1513-1516, (2006).
- [41] R. Stangl, M. Kriegel, Schmidt. “A numerical computer program for simulation of heterojunction solar cells and measurements”, Proceedings of the 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Hawaii, USA: 1350-1353, (2006).
- [42] A. Niemegeers, M. Burgelman, S. Degrave, J. Verschraegen, K. Decock, “SCAPS manual”, (Version 24 April 2012).
- [43] E. K. Chiew, M. Yahaya, A. P. Othman, “Investigation of recombination process of P3HT: PCBM organic solar cell”, Solid State Science and Technology, 20, No 1 & 2,102-108, (2012).
- [44] Gh. Azzouzi, “Study of silicon solar cells performances using the impurity photovoltaic effect”, these of Doctorate, Université Ferhat Abbas Setif , (2012).

- [45] J. Attia, “Electronics and Circuit Analysis using MATLAB”, Université Mentouri-Constantine, (2006).
- [46] J. Lavery, “Quantum tunneling model of a P-N junction in silvaco”, Thesis Naval postgraduate, School Monterey California, (2008).
- [47] 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).

الملخص

تتعرض الخلايا الشمسية المستخدمة في التطبيقات الفضائية لجسيمات ذات طاقة عالية مثل البروتونات والنيوترونات، هذه الجسيمات تؤدي إلى تدهور شديد في أداء الخلايا الشمسية. في هذا العمل تم تنفيذ محاكاة رقمية باستخدام برنامج محاكاة SCAPS-1D لدراسة تأثير كثافة مصائد الإلكترونات الناتجة عن إشعاع النيوترونات على الخصائص الكهربائية الخارجية لثلاث أنواع من الخلايا الشمسية: AlGaAs/GaAs ، GaAs/ Si, GaAs/Ge. وبالمقارنة بين الخلايا الثلاث وجد أن الخلية الشمسية GaAs/Ge هي الأفضل وذلك لأنها الأكثر مقاومة لتأثير إشعاع النيوترونات.

الكلمات المفتاحية: الخلايا الشمسية ، غير المتجانسة ، SCAPS-1D ، إشعاع النيوترونات.

Abstract

Solar cells used in space applications are exposed to high-energy particles such as protons and neutrons, and these particles lead to severe degradation in the performance of solar cells. In this work, numerical simulation has been using the simulator program SCAPS-1D to study the electron traps neutron radiation effect on the external electrical properties of three types of solar cells, AlGaAs / GaAs, GaAs / Si, and GaAs / Ge. By comparing the three cells, it was found that the GaAs / Ge solar cell is the best because it is more resistant to the effects of neutron radiation.

Keywords: Solar cell, Heterojunction, SCAPS-1D, Neutron irradiation.