

جامعة قاصدي مرياح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

فرع: فيزياء

تخصص : فيزياء الإشعاعات، كاشف وبصريات إلكترونية

من إعداد : ميموني إيمان

بعنوان:

مساهمة في دراسة الطبقات الرقيقة للخلايا الشمسية $a-Si:H$ و $a-Si$ المرسبة بتقنية

PECVD

نوقشت يوم: 31 / 05 / 2016

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ مساعد ب	د. معريف ياسين
ممتحنا	جامعة ورقلة	أستاذ مساعد أ	أ. بوعنان رابح
ممتحنا	جامعة ورقلة	أستاذة مساعدة أ	أ. لمقدم سومية
مشرفة	جامعة ورقلة	أستاذة محاضرة أ	د. باباحني أم الخير

الموسم الجامعي: 2015/2016

الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

أهدي ثمرة جسدي إلى من قال عز وجل فيهما:

وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه وبالوالدين إحسانا

إلى الذي رباني ومن فيض الحنان والعناية سقاني

إلى الذي رباني و قادني لطريق العلم و حثني عليه هو

أبي.....

إلى التي وهبني الله على يدها الحياة

إلى التي عاجزة أن أذكر فضلها علي

إلى الشمعة التي أنارت طريقتي هي:

أمي.....

إلى أقرب كلمة إلى قلبي هي ما تداعج قلبي بكل صدق

و تشعرني بقرب الدفء و المفاخر عند قولها و سماعها هي:

إخوتي.....

إلى برامج الحياة و صفاء الوجود

إلى أجمل طفلين في الكون هما

.....مراد و زين الدين.

إلى من تتلمذت على أياديهم

إلى من أمدوني بنصائحهم و توجيهاتهم

..... إلى أساتذتي

إلى كل أفراد دفتري دون استثناء..... إلى كل هؤلاء أهدي ثمرة هذا الجسد المتواضع

شكر و تقدير

الحمد لله رب العالمين، الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا

الله، الحمد والشكر لله والصلوة والسلام على رسول الله.

أتقدم أولاً و آخرًا بالشكر لله عز و جل الذي بنعمته تتم الصالحات، فله الحمد حتى يرضى و له

الحمد إذا رضي و له الحمد بعد الرضا.

أتشرف أن أتقدم بشكري الخالص إلى كل من ساعدني في إعداد هذه المذكرة و

بالأخص الذكر: الدكتورة المشرفة "بابايني أم الخير " أتقدم لها بجزيل الشكر والتقدير على

قبولها الإشراف، وعلى اقتراحها لي هذا الموضوع، و على التشجيع الدائم، و جميل الصبر في هذا

المشوار، وما بذلته من جهد ومتابعة لمدة الإشراف.

و أشكر أيضا الدكتور الكريم " معريفه ياسين " لقبوله ترؤس لجنة المناقشة، كما أشكر الأستاذ

المحترم " بومنان رابع " والتقدير الخالص للأستاذة المساعدة "لمقدم سومية". لقبولهم مناقشة هذه

المذكرة وأتمنى أن يفيدوني بأرائهم القيمة .

كما أشكر كل أعضاء فريق البحث بمخبر الإشعاع والبلازما وفيزياء السطوح بقسم الفيزياء جامعة

قاصدي مرباح ورقلة.

فلا يغيب عن خاطرنا إلا أن نتقدم بالشكر الجزيل إلى الزميلات " حليلة ، أسماء، خلود، رندة ،أمال،

هيذدة ، سامية ، فاطمة، نور، ليلى "

وكل من ساهم ومدّ لنا يد العون في إنجاز هذا العمل المتواضع

فهرس المحتويات

أ	فهرس المحتويات
ب	فهرس الأشكال
ت	فهرس الجداول
1	المقدمة العامة
	الفصل الأول : عموميات حول طبقات الرقيقة ومدى استعمالاتها في الخلايا الشمسية
2	1. مقدمة
2	1.1. تعريف الطبقات الرقيقة
2	2.1. مميزات وخصائص الطبقات الرقيقة
2	3.1. طرق ترسيب الطبقات الرقيقة
3	1.3.1. الترسيب الفيزيائي للطور البخاري (physical vapor deposition) PVD
4	2.3.1. الترسيب الكيميائي للطور البخار (Chemical Vapor Deposition) CVD
4	3.3.1. آلية النمو لطبقة رقيقة بتقنية الترسيب الكيميائي لطور البخار (CVD)
5	4.1. درجات الحرارة توضع الطبقات الرقيقة في مختلف تقنيات CVD
6	5.1. ترسيب الأبخرة الكيميائية بتعزيز البلازما (Plasma Enhanced Chemical Vapor Déposition)
6	1.5.1. ايجاييات PECVD.
7	6.1. السيليكون الأحادي Silicon monocristallin
7	7.1. السيليكون الهيدروجيني اللابلوي (Le silicium amorphe hydrogéné)
8	8.1. استعمالات الطبقات الرقيقة في الخلايا الشمسية
8	1.8.1. الشمس

9	2.8.1. الطاقة الشمسية
10	3.8.1. الطيف الإشعاع الشمسي
11	4.8.1. الطيف الشمسي خارج الغلاف الجوي
11	5.8.1. Constant solar G_{SC} الثابت الشمسي
12	9.1. مكونات الخلية الكهروضوئية
12	1.9.1. حزمة التكافؤ - حزمة التوصيل
13	2.9.1. Dopage التطعيم
14	3.9.1. La Jonction P-N. تنائي الوصلة
15	4.9.1. Jonction P-N `a l'equilibre تنائي الوصلة عند استقرار
16	11. مبدأ عمل الخلية الشمسية
17	11.1. بنية الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون الابلوي
17	11.2. تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية
18	11.3. أنواع الخلايا الشمسية
18	11.4. إيجابيات وسلبيات الخلايا الشمسية
19	11.5. المنحنى المميز تيار - جهد (I-V) للخلية الشمسية
21	1.5.1. Le rendement المرودود الخلية الشمسية
21	11.2.5. معامل أداء الخلية
21	11.6. Sources de pertes dans les cellules عوامل خسارة في الخلية الشمسية
21	11.7. Résistance série مقاومة التسلسلية
22	11.7.1. Résistance de l'émetteur مقاومة الباعث
22	11.7.2. Résistance de la grille face avant مقاومة الشبكة الأمامية

22	Résistance de contact 3.7.II مقاومة التماس
23	III. محاكاة مونتج كارلو
23	1.III. طريقة مونتج كارلو
24	2.III. خوارزمية مونتج كارلو Metropolis
	الفصل الثاني : النمذجة العددية
25	II. المقدمة
25	1.II. تعريف الظاهرة الفيزيائية
26	2.II. التدفق Flux
26	3.II. الإنبعاث L'Emittance
26	4.II. الإضاءة Luminance
26	5.II. الشدة Intensité
27	6.II. حساب دالة الاحتمال. La fonction de probabilité.
27	1.6.II. معادلة بلانك Équation de plank
28	2.6.II. الطاقة الواردة من الخلية الشمسية
29	7.II. مخطط لحساب شدة التيار الضوئي
	الفصل الثالث: مناقشة وتحليل النتائج
30	III . مقدمة
30	1.III. نتائج دالة الإحتمال الطول الموجي
31	2.III. كثافة التيار الضوئي
31	III. 1.2. نتائج تغير طاقة الفوتونات بدلالة طول موجي

32	2.2.III. نتائج حساب النسبة المتقوية للفوتونات
33	III. 3.2. نتائج كثافة تيار خلال محاكاة
34	III. 4.2. نتائج كثافة التيار بدلالة شدة الإضاءة
35	III. 5.2. نتائج المردود بدلالة شدة الإضاءة
36	III. 3. المنحنى المميز تيار-جهد
36	III. 1.3. تأثير المقاومات التسلسلية R_S على المنحنى المميز تيار-جهد
37	III. 2.3. تأثير المقاومات الموازية R_{sh}
38	الخلاصة العامة
	الملخص

فهرس الأشكال

	الفصل الأول : عموميات حول الطبقات الرقيقة وطرق ترسيبها ومدى استعمالاتها في الخلايا الشمسية
3	الشكل 1.1: تقنيات ترسب الطبقات الرقيقة
3	الشكل 2.1: مبدأ التبخر الحراري
4	الشكل 3.1: مثال لمفاعل الترسيب CVD
5	الشكل 4.1: مراحل توضع بتقنية CVD
6	الشكل 5.1: مفاعل PECVD لإنتاج الطبقات الرقيقة
7	الشكل 6.1: البنية البلورية الأحادية لسيليكون (نوع الماس)
7	الشكل 7.1: نموذج لذرة السيليكون Si
8	الشكل 8.1: بنية السيليكون الهيدروجيني الابلوي a-Si:H
9	الشكل 9.1: أبعاد الشمس و الأرض و المسافة بينهما
9	الشكل 10.1: بنية الشمس
10	الشكل 11.1: كيفية انقسام الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض
10	الشكل 12.1: توزيع طيف الإشعاع الشمسي
11	الشكل 13.1: تأثير الغلاف الجوي على طيف الإشعاع الشمسي
12	الشكل 14.1: بنية السيليكون
13	الشكل 15.1: حزمة التكافؤ - حزمة التوصيل
14	الشكل 16.1: تشكل الوصلة (P-N).
14	الشكل 17.1: الوصلة La Jonction P-N
15	الشكل 18.1: الوصلة La Jonction P-N عند الإستقرار

15	الشكل 19.1: منطقة شحنة الفراغية في الوصلة P-N
16	الشكل 20.1: يمينا مخطط الحزم يسارا بنية الخلية الشمسية
17	الشكل 21.1: بنية خلية الشمسية a-Si:H
19	الشكل 22.1: المنحنى المميز تيار - جهد (I-V) للخلية الشمسية
19	الشكل 23.1: رسم تخطيطي للدائرة المكافئة للخلية الشمسية
22	الشكل 24.1: المقاومات التسلسلية للخلية الشمسية
23	الشكل 25.1: تقدير قيمة π
	الفصل الثاني : النمذجة العددية
25	الشكل 1.11: بنية خلية السيليكون الابلوي a-Si :H
28	الشكل 2.11: شدة الإصدار بدلالة الطول الموجي
30	الشكل 3.11: مخطط من أجل حساب شدة التيار الضوئي
	الفصل الثالث: مناقشة وتحليل النتائج
30	الشكل 1.111: منحنى دالة الاحتمال بدلالة الطول الموجي.
31	الشكل 2.111: منحنى طاقة الفوتونات بدلالة طول الموجي.
32	الشكل 3.111: عدد الفوتونات الفعالة بدلالة محاكاة.
33	الشكل 4.111: كثافة تيار بدلالة محاكاة.
35	الشكل 5.111: كثافة تيار بدلالة شدة الإضاءة.
35	الشكل 6.111: منحنى المردود بدلالة شدة الإضاءة.
36	الشكل 7.111: تأثير المقاومات التسلسلية R_S على المنحنى المميز تيار-جهد.
37	الشكل 8.111: تأثير المقاومات الموازية على المنحنى المميز تيار-جهد.

فهرس الجداول

	الفصل الأول : عموميات حول طبقات الرقيقة ومدى استعمالاتها في الخلايا الشمسية
5	الجدول 1.1: درجات حرارة توضع الطبقات الرقيقة في مختلف تقنيات CVD.
20	الجدول 2.1: يلخص قيم بعض الثوابت.
27	الجدول 1.11: المقادير الفيزيائية المرتبطة بالإشعاع والموافق لها في الضوء بوحدات مختلفة.
34	الجدول 1.111: تتغير شدات الإضاءة في منطقة ورقلة وفق أشهر السنة.

المقدمة العامة

مقدمة العامة

في السنوات الأخيرة، عرفت الطبقات الرقيقة تطورا معتبرا حيث استخدمت في مختلف المجالات الصناعية خاصة في الصناعات الالكترونية كما تستعمل في صنع الخلايا الشمسية، الشاشات المسطحة، صناعة الحواسيب والهواتف النقالة و صناعة الطائرات والصناعات الغذائية.....الخ.

توجد عدة طرق لإنتاج هذه الطبقات الرقيقة منها : الترسيب الكيميائي لطور البخار CVD و الترسيب الفيزيائي لطور البخار PVD [1]، يمكن تشكيل طبقة a-Si:H بتقنية الترسيب الكيميائي لطور البخار بتحفيز البلازما (PECVD).
تعد تقنية PECVD من أكثر الطرق استعمالا لتوضع الطبقات الرقيقة كما تسمح بنمو الطبقات في درجات حرارة منخفضة .
الخلايا الشمسية من المركبات التي تقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية حيث يتركز هذا التحويل على ثلاث آليات: امتصاص الفوتونات، تحويل طاقة الفوتون إلى طاقة كهربائية، جمع الجسيمات المتولدة في الجهاز [2]، نتم في دراستنا هذه بدراسة طبقة رقيقة لخلية شمسية a-Si:H مرسبة بالتوضع الكيميائي المدعم بالبلازما PECVD.
في هذه الدراسة نتعرف على خلية شمسية a-Si:H حيث نبرز خصائصها، نتعرف على بنيتها وبعض استعمالاتها، وقد قسمت المذكرة إلى ثلاثة فصول:

في الفصل الأول: نقوم بتقديم معلومات عامة حول الطبقات الرقيقة وطرق ترسيبها ومدى استعمالها في الخلايا الشمسية . في هذا العمل نتمم بالخلية الشمسية المصنوعة من طبقة a-Si:H مرسبة بتقنية PECVD، نعرفها و نقدم بنيتها، خصائصها و استخدماتها، كما نبين مميزات تيار - جهد لهذه الخلية.

في الفصل الثاني : نقتح دالة لحساب الاحتمال في اختيار الطول الموجي ، كما نقتح حساب عددي بلغة الفوتون و نستعمل محاكاة موني كارلو من أجل حساب كثافة التيار الضوئي J_{ph} .

الفصل الثالث : نقوم بتحليل و مناقشة نتائج المنحنيات المميزة تيار - جهد لهذه الخلية ونتائج كثافة تيار الضوئي و معرفة أطوال الموجات للفوتونات القادرة على تحرير الالكترونات.....الخ.

الفصل الأول:

عموميات حول الطبقات الرقيقة ومدى استعمالاتها في
الخلايا الشمسية

عموميات حول الطبقات الرقيقة ومدى استعمالاتها في الخلايا الشمسية

1. المقدمة: في هذا الفصل نقدم معلومات عامة حول الطبقات الرقيقة وطرق ترسيبها، واستخداماتها في مختلف المجالات وبالخصوص في الخلايا الشمسية. نعرف في هذا الفصل الطبقات الرقيقة المستعملة في الخلايا الشمسية ونبين كيفية تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.

1.1. تعريف الطبقات الرقيقة:

الطبقة الرقيقة هي قشرة رقيقة من مادة ترسب على مادة أخرى تدعى الركيزة (substrat). الغرض من وضع الطبقة الرقيقة هو إكساب سطح المادة خصائص محددة مطلوبة مع الاستفادة من الخصائص العامة للركيزة.

- تستعمل الطبقات الرقيقة لغرض تعديل السطح مثلا (وذلك بتغيير الناقلية الكهربائية).
- تستعمل أيضا في مجال البصريات : في طلاء المرايا و في العلاج بعدسات النظارات حتى تصبح غير عاكسة للضوء.
- في الخوذات المستعملة من طرف رجال المطافئ تستعمل كطبقات عاكسة للحرارة لتخفيض درجات الحرارة التي يتعرضون لها [3].

2.1. مميزات وخصائص الطبقات الرقيقة:

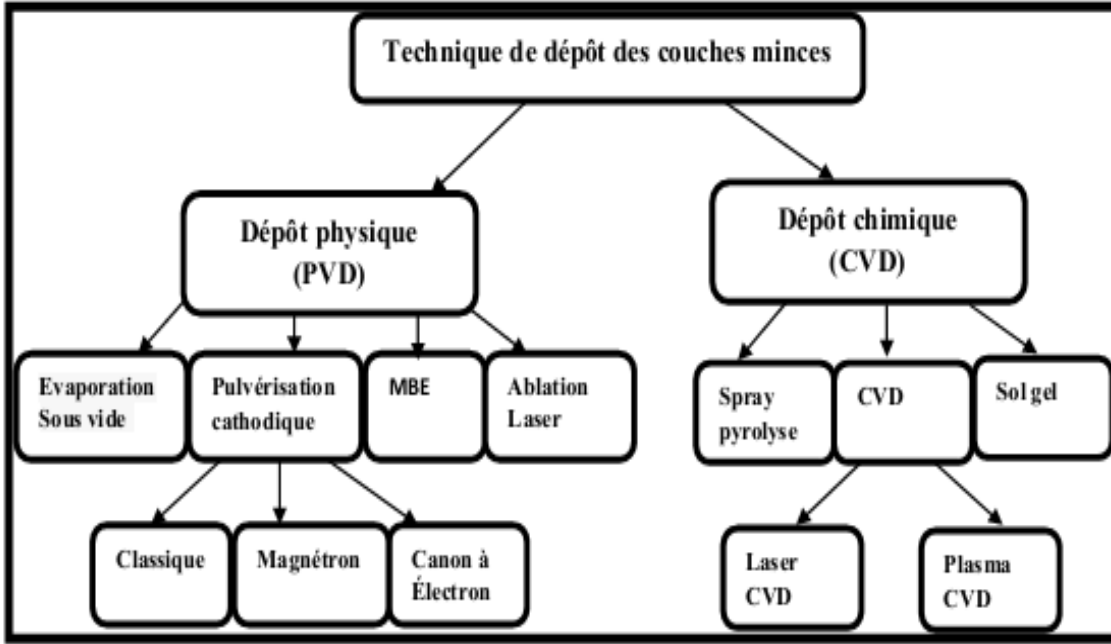
إن مزايا الطبقات الرقيقة تنأتى من الاستعمال الاقتصادي لطبقة رقيقة من مادة لها خصائص فيزيائية مرغوبة باستعمال تقنية سهلة من تقنيات توضع الطبقات الرقيقة (تجهيز سهل ومواد غير مكلفة). إن الطبقة الرقيقة مهما كانت الطريقة المستعملة لصنعها تكون مرتكزة على الركيزة فهي تعتبر كجزء لا يتجزأ منها لهذا يجب أن نأخذ في عين الاعتبار بأن الركيزة لها تأثير قوي على الطبقة المتوضعة .

تستعمل أنواع كثيرة من المواد للحصول على طبقات رقيقة حيث يمكن مثلا ترسيب عدة طبقات معدنية ثنائية، ثلاثية، ورباعية في قطعة واحدة [4].

3.1. طرق ترسيب الطبقات الرقيقة:

طرق ترسيب الطبقات الرقيقة كثيرة ومتنوعة، منها تقنيتي الترسيب الفيزيائي للطور البخاري PVD و الترسيب الكيميائي للطور البخاري CVD.

المخطط أدناه يلخص أهم هذه الطرق وفقا لهاتين التقنيتين: [5].



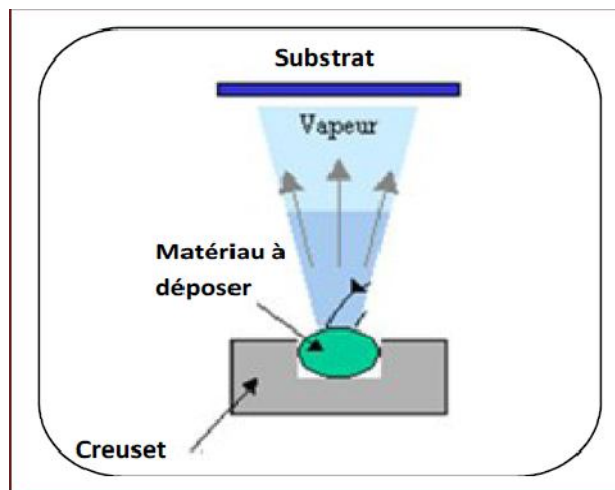
الشكل (1.1): تقنيات ترسب الطبقات الرقيقة [6].

1.3.1 الترسيب الفيزيائي للطور البخار PVD (physical vapor deposition):

يكون فيها الترسيب بواسطة قذف المادة في الفراغ وهذه الطريقة تسمح بصنع طبقة ذات سمك بمقدار الميكرومتر أو النانومتر، وتتم

في وجود حالة غازية للمادة في ضغط منخفض و درجة حرارة مرتفعة، يتم التكاثر على سطح الدعامة أو الركيزة للحصول على

فيلم رقيق أو طبقة رقيقة [6].



الشكل (2.1) : مبدأ التبخر الحراري [7].

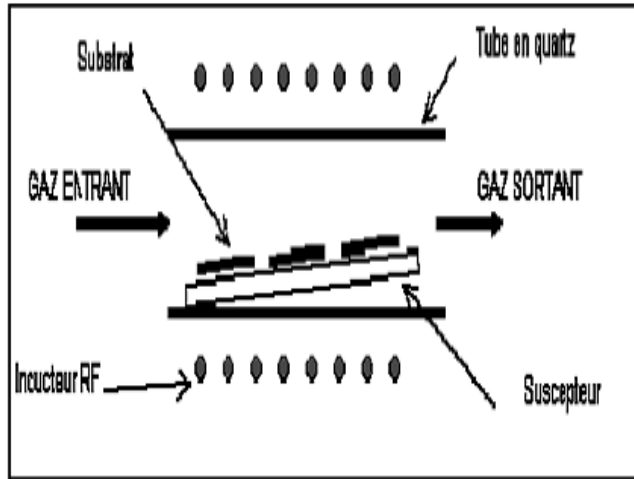
2.3.1. الترسيب الكيميائي للطور البخاري (Chemical Vapor Deposition) CVD:

تستعمل هذه التقنية في عدة تطبيقات خاصة في أنصاف النواقل. يوجد عدة طرق متفرعة لهذه الطريقة منها ما يتم في درجة حرارة مرتفعة أو في درجة حرارة منخفضة (استعمال البلازما).

❖ LPCVD هي طريقة توضع تحت تأثير ضغط منخفض

❖ HPCVD هي طريقة توضع تحت ضغط مرتفع.

إذا كان الوسط المستعمل هو بلازما تكون طريقة توضع CVD هي PECVD و تتم في درجة حرارة منخفضة.

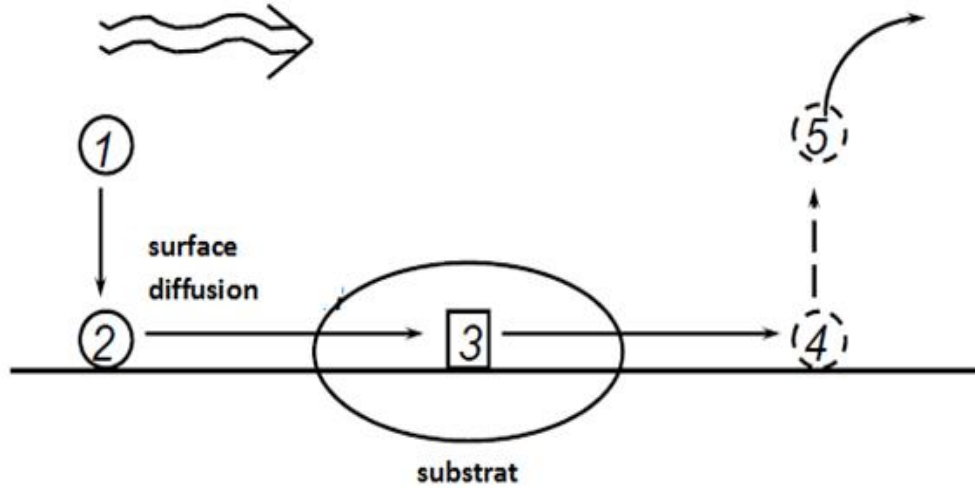


الشكل (3.1) مثال لمفاعل الترسيب CVD [6].

3.3.1. آلية النمو لطبقة رقيقة بتقنية الترسيب الكيميائي لطور البخار (CVD):

مراحل التوضع بتقنية CVD هي : [8]

- 1 / - انتشار المتفاعلات الكيميائية على السطح في حجم المفاعل.
- 2 / - تتوجه المواد المتفاعلة نحو السطح (L'adsorption).
- 3 / - حدوث تفاعلات كيميائية على السطح الركيزة (substrat).
- 4 / - انتشار الغازات الناتجة عن التفاعلات الكيميائية بعيدا عن السطح (La désorption).
- 5 / - خروج الغازات من حجم المفاعل.



الشكل (4.1): مراحل التوضع بتقنية CVD [8].

4.1. درجات الحرارة توضع الطبقات الرقيقة في مختلف تقنيات CVD:

تتوضع الطبقات الرقيقة في درجات حرارة محددة تتغير بتغير التقنية المستعملة في التوضع، يبين الجدول 1: درجات حرارة توضع

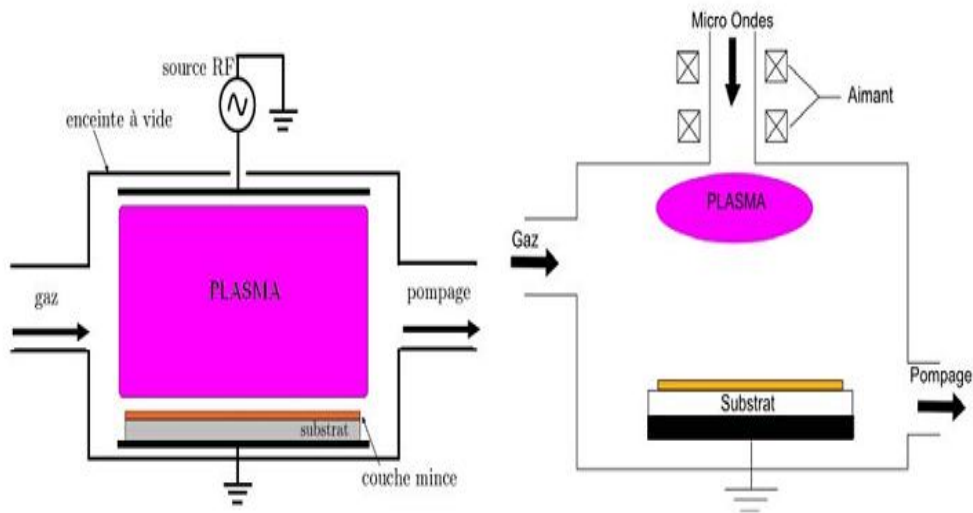
الطبقات الرقيقة في مختلف تقنيات CVD [9].

درجة الحرارة	تقنية الترسيب CVD
أدنى درجة حرارة هي 400 °C	ترسيب كيميائي لطور البخار بتحفيز البلازما (PECVD).
درجة حرارة الركيزة 500°C – 2500°C	ترسيب الكيميائي لطور البخار بالليزر (LCVD).
درجة حرارة الركيزة 400°C - 1100 °C	ترسيب كيميائي لطور البخار بالضغط الجوي (APCVD).
درجة الحرارة حوالي 550°C	ترسيب كيميائي لطور البخار بالضغط المنخفض (LPCVD).
درجة حرارة السلك تتراوح بين 2027°C – 1625°C	ترسيب كيميائي لطور البخار بواسطة الأسلاك الساخنة (Hot-wire CVD).

5.1. ترسيب الأبخرة الكيميائية بتحفيظ البلازما (Plasma Enhanced Chemical Vapor Déposition):

تقنية PECVD : هي واحدة من تقنيات الترسيب الكيميائي للبخار CVD، تسمح هذه التقنية بنمو الطبقات في درجات حرارة منخفضة، في هذه الطريقة يتم تفكك الغازات المتفاعلة بواسطة الالكترونات المتواجدة في البلازما، ويمكن أن تتولد البلازما إما عن طريق ترددات الراديو (RF) الأكثر استخداما في مجال الالكترونيات الدقيقة أو غيرها من التقنيات [10].

لنمو طبقة الرقيقة a-Si:H بواسطة التوضع الكيميائي المدعم بالبلازما في نظام ترسيب PECVD، حيث أن البلازما تتكون من خليط لغاز سيلاني والهيدروجين (SiH₄/H₂) في مفاعل (RF) ذو تردد 13.56 ميغاهرتز [1].



الشكل (5.1): مفاعل PECVD لإنتاج الطبقات الرقيقة [11].

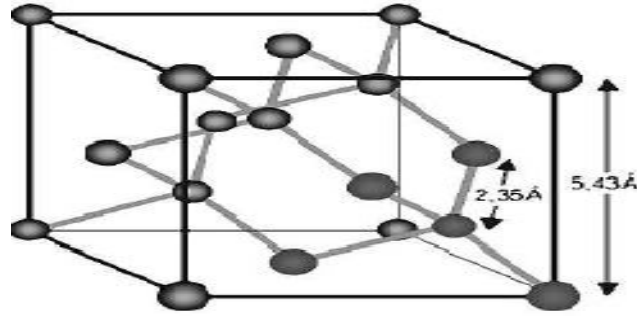
1.5.1. إيجابيات PECVD:

من أهم ما يميز تقنية PECVD مقارنة بباقي تقنيات الترسيب الكيميائي للطور البخاري CVD :

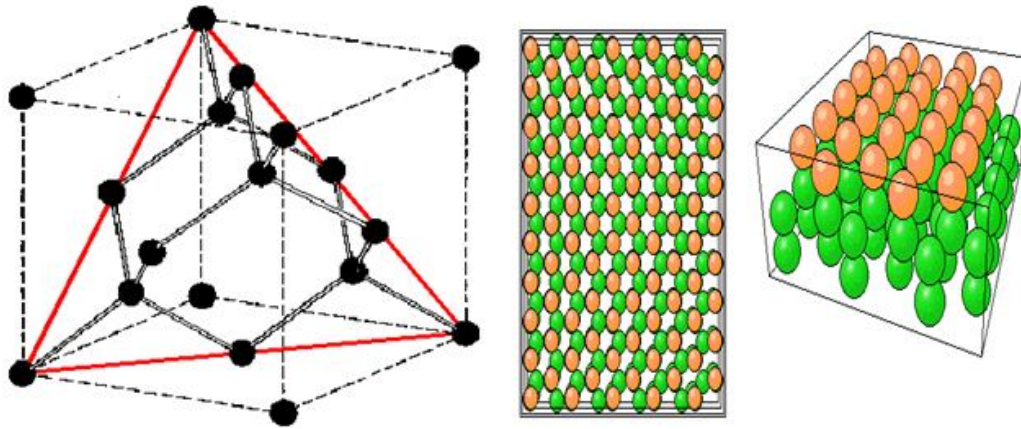
- وجود البلازما تسمح لنا بعمل في درجات الحرارة منخفضة والتي تعمل على تنشيط التفاعلات الكيميائية.
- تشكل مجموعات واسعة من الأنواع الكيميائية، الأيونات الموجبة والسالبة، والجذور الحرة، الإلكترونات، والذرات أيضا. كما يمكن لجميع هذه الأنواع أن تتفاعل مع بعضها البعض.
- للحصول على البلازما يجب استخدام ترددات الراديو في المفاعل ذات التواتر (13,56 MHz) أو ترددات الموجات الدقيقة micro-onde ذات التواتر (2,45 GHz) [12].

6.1. السيليكون الأحادي (Silicium monocristalin) :

إن تركيبة السيليكون الأحادي (C-S) تظهر أن كل ذرة السيليكون تتصل بأربعة ذرات أخرى وتشكل قمم رباعي الوجوه المنتظم و الحصول عليه يتطلب عمليات تنقية معقدة [13].



الشكل (6.1): البنية البلورية الأحادية لسيليكون (نوع الماس) [14].



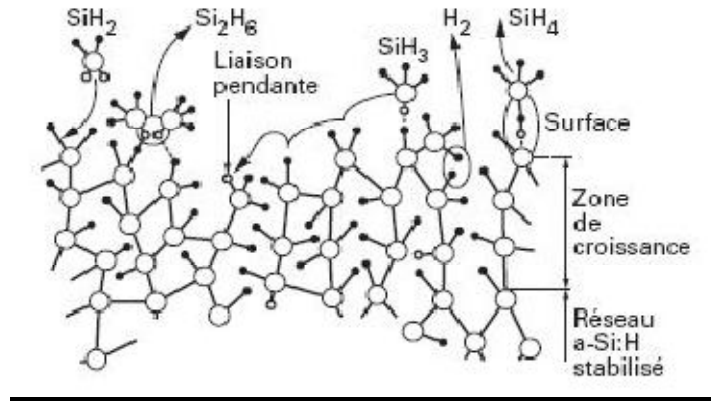
الشكل (7.1): بنية البلورية للسيليكون [15].

7.1. السيليكون الهيدروجيني اللا بلوري Le silicium amorphe hydrogéné :

السيليكون الهيدروجيني غير المتبلور (a-Si:H)، هي مادة من عائلة أشباه الموصلات، تم اكتشاف عن هذا النوع من أشباه الموصلات في أوائل الستينات .

الفصل الأول: عموميات حول طبقات الرقيقة و مدى استعمالاتها في الخلايا الشمسية

في البداية لم يكن صالح للاستعمال لأن كان لديه كثير من النقائص، لكن في أواخر الستينات لوحظ أن لسيليكون غير المتبلور في البلازما لغاز سلان (SiH_4) أكثر من 99.9% من السلبات تختفي بواسطة الهيدروجين، مما يجعلها قابلة للاستخدام كمادة أشباه الموصلات [13].



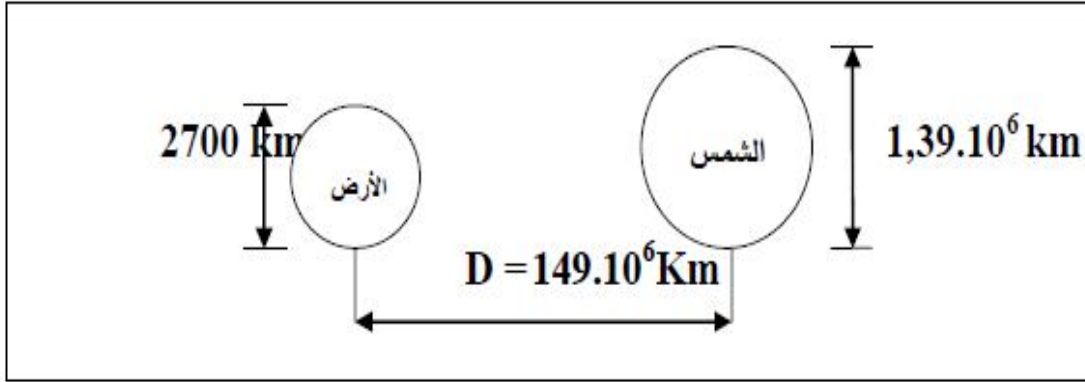
الشكل (8.1): بنية السيليكون الهيدروجيني اللا بلوي a-Si:H [14].

8.1. استعمالات الطبقات الرقيقة في الخلايا الشمسية:

تعتبر الشمس المصدر الرئيسي لطاقة في كوكبنا، وهي تمد 97,97% من الطاقة لكل الكائنات الحية ولولاها لتجمد سطح الأرض وانعدمت الحياة عليها وأصبح كوكبنا باردا ميتا [16].

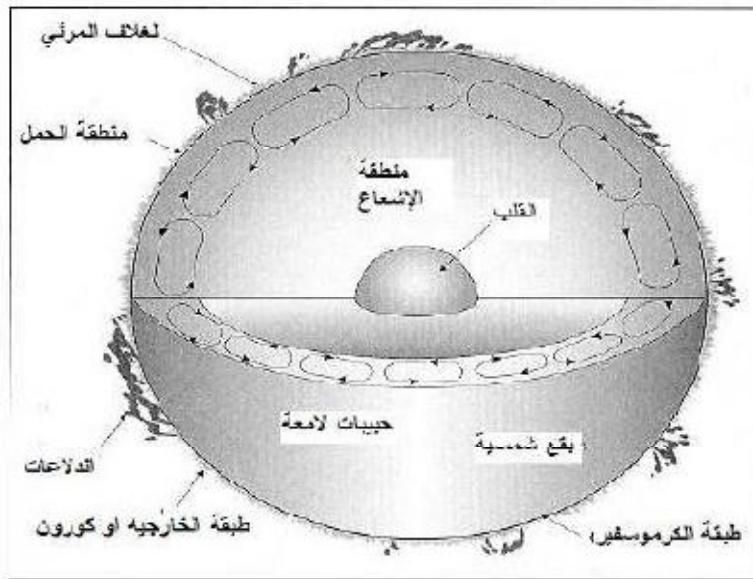
1.8.1. الشمس:

الشمس هي نجم كبير الحجم مكون من غاز ملتهب تبلغ درجة حرارته حوالي $5800k$ ويبلغ طول قطرها المرئي $1,39 \times 10^6 Km$ وتزداد كتلتها عن $1998 \times 10^{24} tn$ أي ما يعادل 333×10^3 من كتلة الأرض البالغة $6 \times 10^{21} tn$ ، وتبعد الشمس عن الأرض مسافة $(149 \times 10^6 km \pm 1,65\%)$ كما هو موضح في الشكل (14.1)، وتصدر في الثانية طاقة قدرها $3,9 \times 10^{23} kw$ وتدور حول محورها دورة واحد خلال 4 أسابيع تقريبا [16].



الشكل (9.1): أبعاد الشمس و الأرض و المسافة بينهما [16].

كما أنها تتكون من 70% هيدروجين و 27% هليوم و 3% مكونات أخرى على شكل شوائب كما تتكون أيضا من عدة طبقات متميزة (النواة، الغلاف الإشعاعي، الغلاف الحملاني، الغلاف المرئي فوتوسفير، الطبقة العكوسة، الطبقة كروموسفير، طبقة كرونا). الشكل (10.1) يوضح كيفية توضع الطبقات السابقة الذكر [17].



الشكل (10.1): بنية الشمس [17].

2.8.1. الطاقة الشمسية:

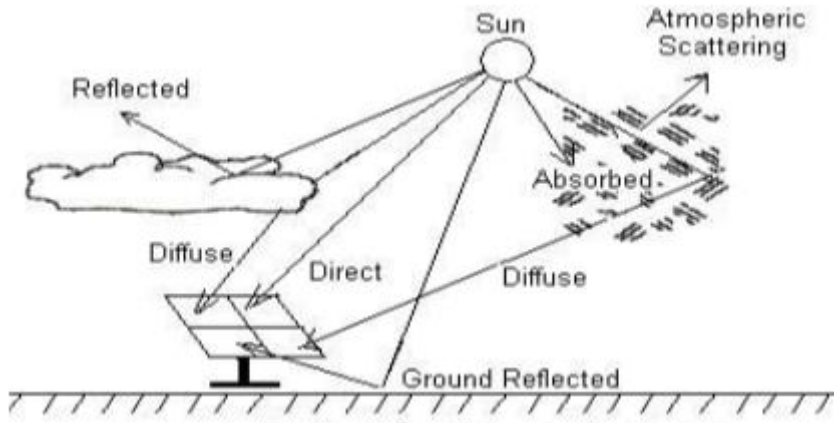
الطاقة الشمسية هي طاقة يتم الحصول عليها من ضوء الشمس تأتي على شكل إشعاع متدفق، يخترق هذا الإشعاع الغلاف الجوي الأرضي و ينعكس جزء منه في الفضاء خارج الغلاف الجوي، كما يتشتت جزء داخله، أما الجزء المتبقي فينفذ عبر الغلاف وبالتالي فإن الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض يكون على ثلاث أشكال.

الفصل الأول: عموميات حول طبقات الرقيقة و مدى استعمالاتها في الخلايا الشمسية

-الإشعاع المباشر (S): هو الإشعاع الذي يعبر الغلاف الجوي دون الانعكاس ولا تشتت ، إي عبارة عن حزمة ضوئية مباشرة من الشمس وتبقى على حالها دون ضياع.

-الإشعاع المنتشر (D): هو الإشعاع الذي يتعرض إلى تشتت بواسطة مكونات الغلاف الجوي.

الإشعاع الكلي (G): هو الإشعاع الواصل إلى نقطة من سطح الأرض الناتج من مجموع الأشعة المباشرة و المنتشرة والمنعكسة
 $[16]G=D+S+R$

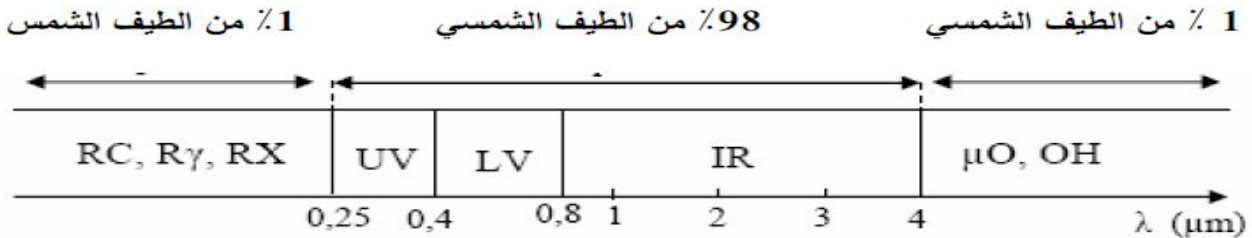


الشكل (11.1): كيفية انقسام الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض [16].

3.8.1. طيف الإشعاع الشمسي:

الإشعاع الشمسي هو أمواج كهرومغناطيسية، تتوزع طاقتها على طيف الإشعاع وتكون 98 % منها ضمن أطوال الموجات $\lambda \in [0.25\mu m, 4\mu m]$ و 1 % تحت هذا المجال و 1 % فوقه، وكل فوتون يمتلك طاقة تعطي وفق العلاقة التالية:

$$E_{\text{photon}}(ev) = \frac{1,24}{\lambda (\mu m)} \quad (1.1)$$



الشكل (12.1) توزيع طيف الإشعاع الشمسي [18].

4.8.1. الطيف الشمسي خارج الغلاف الجوي:

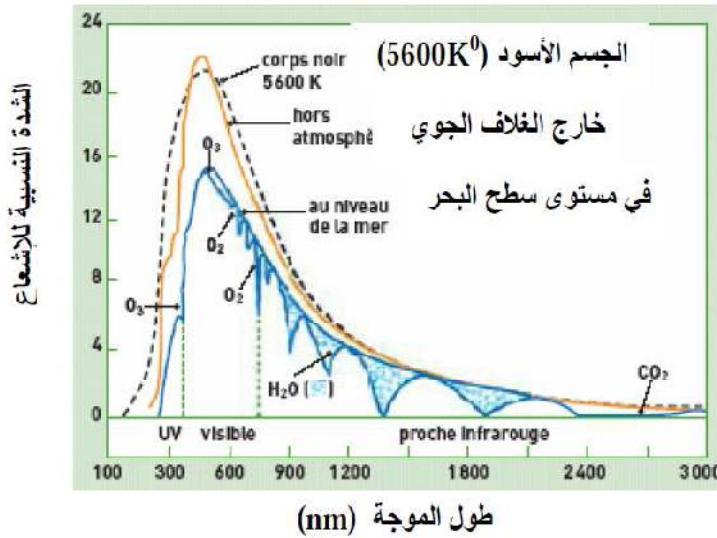
عندما يرسل جزء من سطح مضيء ds تدفقا ضوئيا $d\Phi$ في وحدة المساحة فإن النسبة M تسمى بالانبعاث الطافي ويعطى بالعلاقة التالية.

$$M = \frac{d\Phi}{ds} \quad (\text{Watt}/m^2) \quad (2.1)$$

ويمكن تطبيق القانون الفيزيائي (لستيفان بولتزمان Stefan Boltzmann) لتحديد قيمة الانبعاث M في درجة حرارة معينة (T).

$$\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} Wm^{-2}k^{-4} \quad \text{حيث} \quad M = \sigma T^4 \quad (3.1)$$

واعتمادا على قانون بلانك (Plank) نستطيع الحصول الانبعاث الأحادي اللون للجسم الأسود أي l'émittance monochromatique du corps noir (W/m² μm) [19].



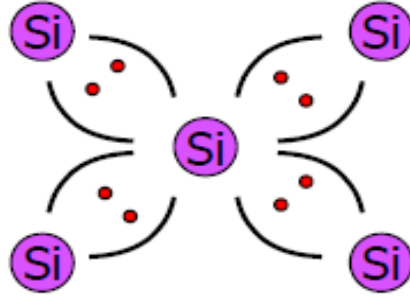
الشكل (13.1) تأثير الغلاف الجوي على طيف الإشعاع الشمسي [18].

5.8.1. الثابت الشمسي G_{SC} Constant solar :

هي كمية التدفق الإجمالي للطاقة الكهرومغناطيسية الآتية من الشمس عموديا على السطح المستوي خارج الغلاف الجوي الأرضي في وحدة الزمن و وحدة المساحة ،ونتيجة الحساب والقياس فإن قيمة هذا الثابت الشمسي تقدر ب $1367W/m^2$ [16].

9.1. مكونات الخلية الكهروضوئية:

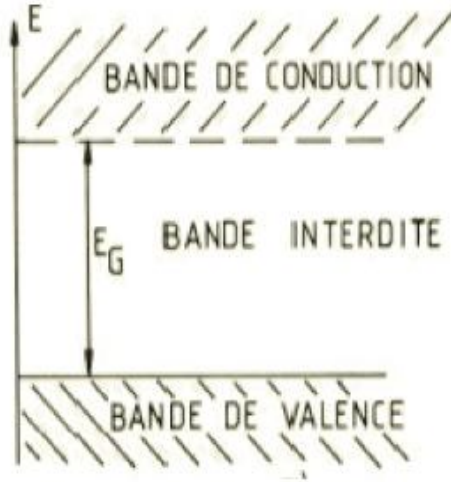
تصنع الخلية الشمسية عادة من مادة بلورية سميكة كالسيليكون البلوري Silicon Crystalline، أو مادة لا بلورية رقيقة كالسيليكون اللابلوري (Amorphous Silicon a-Si) هذه المواد هي إحدى مواد أشباه الموصلات (النوافل) المعروفة. تمتلك ذرة السيليكون أربع إلكترونات تكافؤية و تشترك مع ذرات السيليكون المجاورة في رابطة تساهمية (تشاركية) [20].



الشكل (14.1) بنية السيليكون [20].

1.9.1. حزمة التكافؤ-حزمة التوصيل:

حزمة التكافؤ Equivalence band: هي الحزمة الطاقية المعبرة عن مستويات الطاقة للإلكترونات التكافؤ، أي الإلكترونات التي تؤمن الترابط بين ذرات العنصر لتشكيل البنية البلورية له، ويمثل المستوى E_V مستوى الطاقة الأدنى لهذه الحزمة. حزمة النقل (التوصيل) Conduction band: وهي الحزمة الطاقية المعبرة عن مستويات الطاقة للإلكترونات الحرة والتي تشارك في عملية نقل التيار الكهربائي من دون أن تسهم في تركيب أية ذرة خاصة ويمثل المستوى E_C مستوى الطاقة الأعلى لهذه الحزمة. و تفصل بين هاتين الحزمتين ما يسمى بالفجوة Energy gap. عند إعطاء طاقة أكبر من طاقة الفجوة فإن الإلكترونات تعمل على كسر الروابط الموجودة في حزمة التكافؤ فتكون حرة فتنقل إلى حزمة التوصيل [20].



الشكل (15.1) حزمة التكافؤ- حزمة التوصيل [20].

2.9.1. التطعيم (Doping):

نظرا لكون ناقلية أنصاف النواقل النقية (أشباه الموصلات) تعتبر صغيرة جدا إذا ما قورنت مع ناقلية المعادن، فإن بعض الشوائب تضاف إلى أشباه الموصلات النقية وذلك للرفع من ناقليتها، ويطلق على عملية إضافة الشوائب هذه بعملية التطعيم

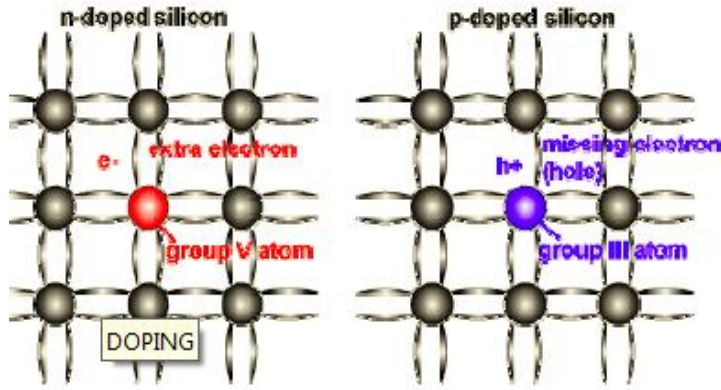
(Doping)[20].

تصنف أشباه الموصلات المطعمة من حيث المواد المطعمة بها إلى أشباه موصلات من النوع السالب (N-type) و أشباه الموصلات من النوع الموجب (P-type).

لتوليد الشحنة الموجبة في الخلية الكهروضوئية تدخل ذرات البور (B) والموجود في العمود الثالث التي تمتلك ثلاث إلكترونات تكافؤية، فتترتبط هذه الذرات مع ذرات السيليكون ويتشكل ثقب إيجابي الشحنة، تسمى مادة السيليكون مع شوائب البور ناقلا إيجابيا أو وصلة من نوع (P).

ولتوليد الشحنة السالبة في الخلية الكهروضوئية تدخل ذرات الفوسفور (P) التي تمتلك خمس إلكترونات تكافؤية في تركيب السيليكون الصافي، فتترتبط هذه الذرات مع ذرات السيليكون ويتشكل ثقب سلبي الشحنة، تسمى مادة السيليكون مع شوائب

الفوسفور ناقلا سلبي أو وصلة من نوع (N)[20].



الشكل (16.1) تشكل الوصلة (P-N) [20].

تصنع الخلايا الشمسية من الوصلات (P-N).

3.9.1. تنائي الوصلة P-N. La Jonction P-N:

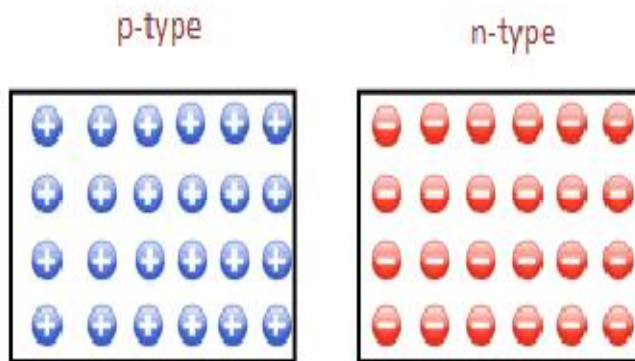
تتكون الوصلة الثنائية P-N من بلورتين متلاصقتين من أشباه الموصلات أحدهما من نوع N-type الغني بالالكترونات الحرة

لوجود شائبة خماسية و الجزء الثاني من النوع P-type الغني بالفجوات لوجود شائبة ثلاثية. عند توصيل الجزئين مع بعض عند

منطقة التلامس تنتقل شحنات سالبة من N-type وتلتحم مع الثقوب الموجودة في الجزء P-type يرمز لثنائي القطب



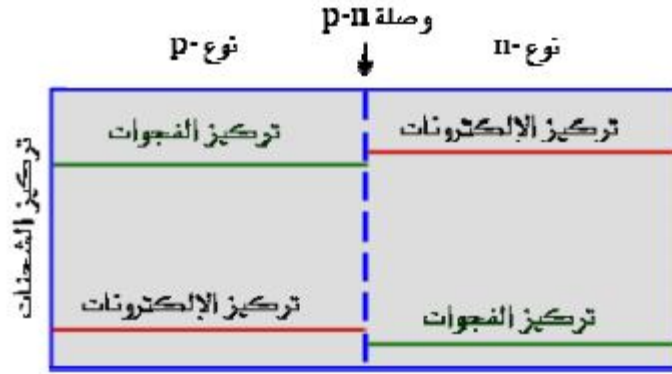
(صمام ثنائي أو ديود) في الدوائر الالكترونية كالاتي [22]:



الشكل (17.1) الوصلة P-N La Jonction [22].

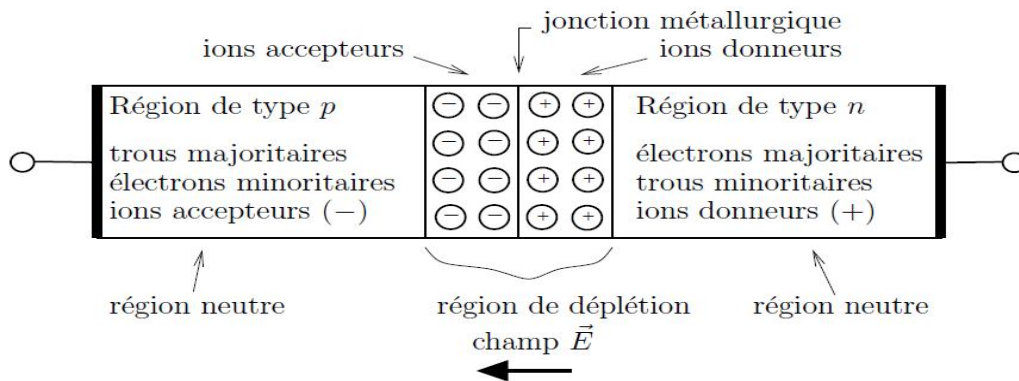
3.9.1. تنائي الوصلة عند الاستقرار Jonction P-N à l'équilibre

عند تشكيل تنائي الوصلة P-N يكون تركيز كل من الإلكترونات والفجوات على جانبي الوصلة كما في الشكل (18.1) ونتيجة لهذا الاختلاف في التركيز على جانبي الوصلة فإن الشحنات سوف تنتشر من الوسط الأكثر تركيزا إلى الوسط الأقل تركيزا. حيث تنتشر الإلكترونات من المنطقة N إلى المنطقة P، كما تنتشر الفجوات من المنطقة P إلى المنطقة N.



الشكل (18.1) الوصلة La Jonction P-N عند الإستقرار [21].

ونتيجة لعملية الانتشار والاتحاد هذه نجد أن المنطقة القريبة من الوصلة أصبحت لا تحتوي على إلكترونات أو الفجوات حرة، كما أن الشحنة في هذه المنطقة أصبحت غير متعادلة لأن الإلكترون الذي يعبر إلى المنطقة P يترك ذرته على شكل أيون موجب كما أن الفجوة التي تعبر من المنطقة P إلى المنطقة N تبقى ذرته على شكل أيون سالب. وهكذا تكون شحنة فراغية (space-charge) على جانبي الوصلة ويطلق على هذه المنطقة التي تكونت فيها الشحنة الفراغية منطقة الاستنزاف أو منطقة الانتقال (transition Region) الشكل (19.1) يبين منطقة الانتقال [21]:



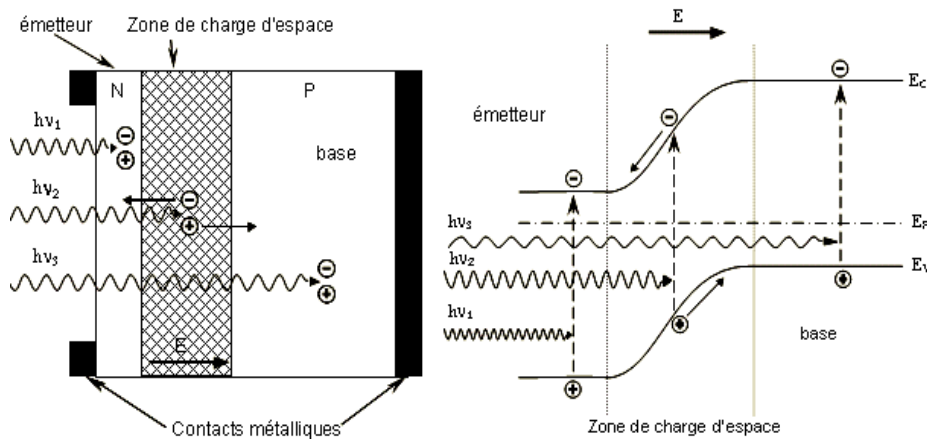
الشكل (19.1) منطقة شحنة الفراغية في الوصلة P-N [21].

II. مبدأ عمل الخلية الشمسية:

الخلية الشمسية هي مركبة الكترونية تحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية ويرتكز هذا التحويل على ثلاث مراحل هي:

- امتصاص الفوتون (في حالة ما إذا كانت طاقة الفوتون الوارد أكبر من طاقة الفجوة (énergie de gap))
- تحويل طاقة الفوتون إلى طاقة كهربائية بإنشاء الأزواج (إلكترونات / ثقب) في أشباه الموصلات.
- جمع الإلكترونات المتحررة في الخلية [2].

تشكل المواد المكونة لخلايا الشمسية من مستويين طاقيين، كما هو موضح في الشكل (20.1)، اختراق ضوء لسطح الخلية يحدث إنتقال إلكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل، عندما يتحرك إلكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل يترك ثقباً في موضعه.



الشكل (20.1) يمينا مخطط الحزم يسارا بنية الخلية الشمسية [23].

عند سقوط فوتونات الضوء على الخلية الشمسية تولد حوامل (إلكترون - ثقب) في منطقة P وN وكذا في المنطقة شحنة

الفراغية، حيث تسلك هذه الحوامل سلوك مختلف عند كل منطقة:

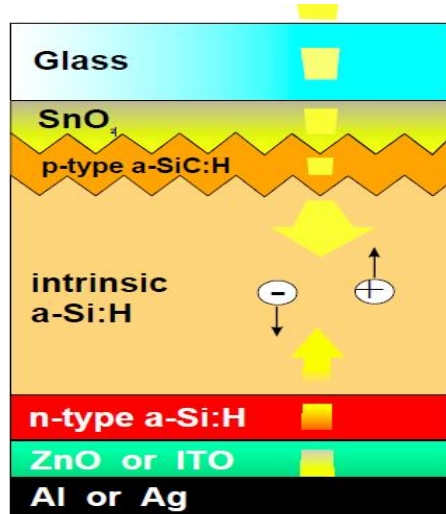
✓ في المنطقة P أو N تنتقل حاملات الشحنة الأقل عدد إلى منطقة الشحنة الفراغية بتأثير الحقل الكهربائي .

✓ في منطقة الشحنة الفراغية الأزواج (ثقب - إلكترون) المولدة بالفوتونات، تنفرد تحت تأثير الحقل الكهربائي فتتجه

الإلكترونات نحو المنطقة P بينما تتجه الثقوب إلى منطقة N [2].

1.11. بنية الخلايا الشمسية المصنعة من السيليكون البلوري بتقنية PECVD:

تختلف تركيبة الخلية الشمسية المصنوعة من السيليكون البلوري $a\text{-Si:H}$ من حيث البنية عن باقية الخلايا الشمسية. فبينما تصنع الخلايا عادة على شكل وصلة (P-N)، فإن الخلية الشمسية $a\text{-Si:H}$ تصنع على شكل وصلة (P-i-N) كما يظهر ذلك في الشكل (20.1). توضع في هذه الخلايا منطقة نقية ذاتية (i) بين الطبقتين الناقلتين بحيث تتمكن حوامل الشحنة المولدة ضوئياً في هذه المنطقة من الوصول إلى الأقطاب والمساهمة بالتيار الضوئي. فعندما يدخل ضوء الشمس على شكل فوتونات إلى الخلية الشمسية يتم امتصاصه بواسطة الطبقة (i) وكل فوتون ممتص يولد زوج (إلكترون - ثقب)، ثم يتحرك الإلكترون باتجاه الطبقة N والثقب إلى الطبقة P بسبب الحقل الكهربائي الموجود بين هذه الطبقات. كما يضاف للوصلة (P-i-N) في الجهة التي يرد منها الضوء طبقة ناقلة وشفافة تسمى طبقة الأكسيد الناقل الشفاف ويرمز لها ب: Transparent Conducting Oxide (TCO) وفي الجهة الأخرى تضاف طبقة وصل معدني metal contact وتسمح هاتان الطبقتان بإجراء وصلات معدنية ناقلة تسمح بنقل التيار [24].



الشكل (21.1) بنية خلية الشمسية $a\text{-Si:H}$ [24]

2.11. تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية:

تتحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية من خلال تأثيران :

- التأثير الكهروضوئي (الفعل الكهروضوئي): اكتشف الفعل الكهروضوئي سنة 1839 من طرف الباحث الفرنسي هنري بيكريل و يقصد به تحويل الإشعاع الشمسي أو الضوئي مباشرة إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية (الكهروضوئية).

كما أكد العالم الفيزيائي انشتاين سنة 1905 أن الضوء يستطيع تحرير الإلكترونات من بعض المعادن مثل الليثيوم و السيزيوم عندما يسقط عليها إشعاع كهرومغناطيسي ذي طول موجي مناسب.

- **التحويل الحراري للطاقة الشمسية:** يعتمد على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات الشمسية والمواد الحرارية، فإذا تعرض جسم داكن اللون ومعزول إلى الإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع وترتفع درجة حرارته يستفاد من هذه الحرارة في التدفئة، التبريد و التسخين [18].

3.ii. أنواع الخلايا الشمسية:

تصنف الخلايا الشمسية إلى عدة أنواع تبعاً للمادة المستخدمة في التصنيع والكفاءة المستخلصة منها وهناك ثلاثة أنواع رئيسية

- 1- الخلايا الفولطاضوئية المتكونة من السيليكون أحادي البلورات (Monocrystalli) أو متعدد البلورات (Polycrystalline). وتتراوح كفاءة التحويل فيها من 18 % - إلى 22 % وتصل الكفاءة النظرية إلى 29 %.
- 2- خلايا الأغشية الرقيقة (thin film solar cells) و تتراوح كفاءتها بين 12% إلى 18% وتدعي بعض المختبرات الحصول على كفاءة تتجاوز 20 % وهي رخيصة الثمن وسهلة التصنيع.
- 3- الخلايا الشمسية متعددة الوصل (multiple junction solar cells) وهي غالباً ما تصنع من مادة كالسيوم أرسينيد (GaAs) وهناك خلايا ذات وصلتين أو ثلاثة وصلات وتتراوح كفاءتها من 30 - 35 % وتدعي بعض المختبرات الحصول على كفاءة تزيد عن 42 % وتميز هذه الخلايا بصعوبة صناعتها وكلفتها العالية [25].

4.ii. ايجابيات وسلبيات الخلايا الشمسية:

إن استعمال الخلايا الشمسية له العديد من اللمسات الايجابية منها:

- 1- ليس لها ضوضاء عند العمل
 - 2- تحتاج إلى صيانة قليلة أو لا تحتاج
 - 3- تدوم لفترات طويلة حيث تبقى فعاليتها لمدة عشرين إلى ثلاثين سنة
- ومثل العديد من مصادر الطاقة المتجددة فإنها تواجه معوقات منها:

1- لا يمكنها إنتاج طاقة في الليل

2- لا يمكنها إنتاج الطاقة عند انعدام الأشعة الشمسية في حالات المطر وسقوط الثلوج

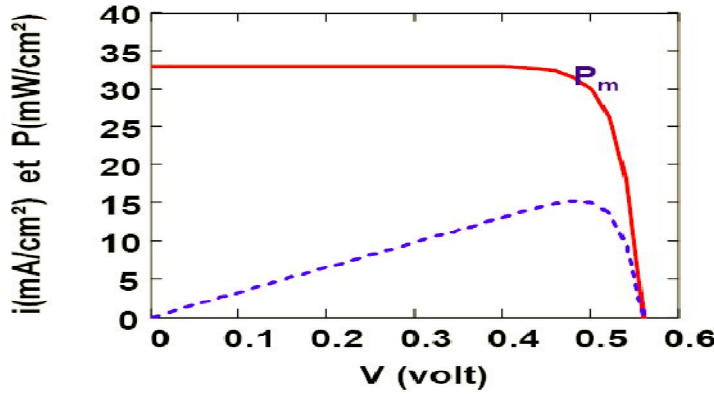
3- تصبح بمرور الوقت اقل كفاءة [25].

5.11. المنحنى المميز تيار - جهد (I-V) للخلية الشمسية:

تسمى العلاقة ما بين الجهد المطبق على أقطاب الخلية والتيار المار بها مميزة تيار-جهد IV-characteristic .

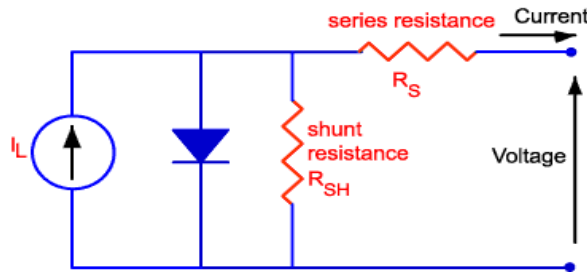
يمكن أن تقاس هذه المعطيات بمعزل عن الضوء وتسمى عندئذ تيار الظلام أو تقاس تحت تأثير الضوء وتسمى عندئذ تيار الإضاءة.

عند دراسة تغير التيار بدلالة الجهد المطبق نحصل على المنحني المنقط و المستمر الموضح في الشكل (22.1).



الشكل (22.1) مميزات تيار جهد لخلية مثالية في الظلام وتحت تأثير الضوء [24].

يوضح الشكل (23.1) الدارة المكافئة للخلية الشمسية باعتبار المقاومة التسلسلية والمقاومة الموازية:



الشكل (23.1) رسم تخطيطي للدارة المكافئة للخلية الشمسية [26].

توصف مميزة تيار - جهد للخلية الشمسية بالمعادلة الآتية: [24].

$$I = I_{Ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(v+R_S I)}{nKT}} - 1 \right) - \frac{V - R_S I}{R_{sh}} \quad (4.1)$$

حيث:

I_{ph} : التيار الضوئي.

V : الجهد المولد في الخلية.

R_s : المقاومة التسلسلية للديود الثنائي حيث تعطى $(R_s=0,1\Omega)$.

R_{sh} : المقاومة على التوازي للديود حيث $(R_{sh}=10^4\Omega)$.

T : درجة الحرارة المطلقة بكلفن K حيث $(T=25C^\circ)$.

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

q : شحنة الإلكترون $(q=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})$.

I_0 : التيار التشبع و n العامل المتالي للديود.

الجدول (2) يلخص قيم بعض الثوابت التالية [27]:

$N \in [1,3 - 2,7]$	$N \in [1,3 - 2,7]$
$R_s \in [0,1 - 0,4]\Omega$	$R_s \in [0,1 - 0,4]\Omega$
$R_{sh} \in [400 - 10^4]\Omega$	$R_{sh} \in [400 - 10^4]\Omega$
$I_{ph} \in [0,2 - 0,4]A \text{ Cm}^{-2}$	$I_{ph} \in [0,2 - 0,4]A \text{ Cm}^{-2}$
$I_0 \in [10^{-9} - 10^{-5}]A \text{ Cm}^{-2}$	$I_0 \in [10^{-13} - 10^{-9}]A \text{ Cm}^{-2}$

ومن خصائص $I(V)$ لخلية شمسية [20]:

• I_{cc} : تيار في دارة قصيرة ($V = 0$) ويساوي التيار الناتج بواسطة الضوء عند فرق كمون قيمته صفر، أي يتم الحصول عليه عند

$$I_{cc} = I_{ph}$$

• v_{oc} : الفولتية في الدارة مفتوحة ($I = 0$) و نحصل عليه عندما لا يمر تيار عبر الخلية، أي بجعل التيار معدوما في المعادلة (4)

• تؤخذ الاستطاعة من الخلية عند استطاعة أعظمية ب: P_m ويكون التيار عندها I_m وفرق الكمون V_m حيث:

$$P_m = I_m \times V_m \quad (5.1)$$

• FF عامل الإمتلاء و يؤخذ بشكل عام [20]:

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{cc}} \quad (6.1)$$

1.5.ii. مردود الخلية الشمسية Le rendement [20]:

ويعني كفاءة الاستهلاك الطاقة، وهي النسبة بين الطاقة القصوى الواردة من الخلية والطاقة الضوئية الساقطة ويرمز له بـ η

$$\eta = \frac{P_m}{P_{imc}} = \frac{FF I_{cc} V_{co}}{P_{imc}} \quad (7.1)$$

2.5.ii. معامل أداء الخلية:

يصاغ رياضياً معامل أداء الخلية الشمسية بالعلاقة التالية [20]:

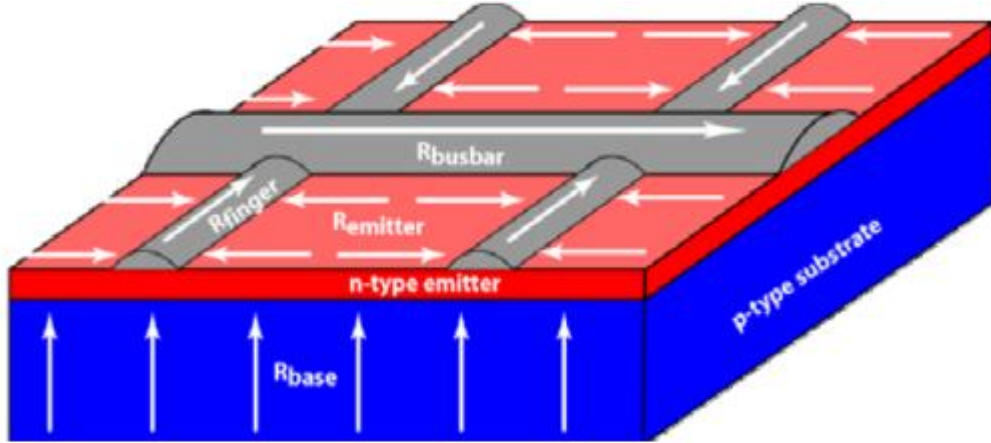
$$\eta = \frac{\eta_{réel}}{\eta_{théorique}} \quad (8.1)$$

6.ii. عوامل الخسارة في الخلية الشمسية Sources de pertes dans les cellules [20]:

- الإمتصاص الغير كامل للفوتونات
- انعكاس على السطح
- المقاومات المتوازية
- تسلسل المقاومات
- مردود التجميع
- فائض الطاقة

7.ii. المقاومة التسلسلية Résistance série:

إن للمقاومة التسلسلية في الخلية الشمسية ثلاثة أسباب وهي أولاً حركة التيار عبر قاعدة الخلية الشمسية، ثانياً مقاومة التلامس بين المعدن الوصلات والسيليسيوم، ثالثاً مقاومة الوصلات العلوية و السفلية. حيث أن في حالة الخلايا الكهروضوئية التقليدية PV يتم وضع الوصلة P-N في الوجه الأمامي (المضاء) للخلية بينما يتم توصيل الباعث بالركيزة في الوجه المعاكس [28].



الشكل (24.1) المقاومات التسلسلية للخلايا الشمسية [20].

1.7.II. مقاومة الباعث :Résistance de l'émetteur

وتعطى النحو التالي:

$$R_e = \frac{R_{sheet} l^2}{12L^2} \quad (9.1)$$

بحيث l : المسافة بين السطور و L : ضلع الخلية و R : مقاومة الباعث

2.7.II. مقاومة الشبكة الأمامية :Résistance de la grille face avant

وتعطى على النحو التالي:

$$R_{gav} = \frac{\rho_m L}{12dh} \quad (10.1) \quad \text{بحيث:}$$

h : ارتفاع خط المعدن و d : هو عرض الخط و ρ_m : مقاومة المعدن

3.7.II. مقاومة التماس :Résistance de contact

وترتكز على حساب المقاومة الكلية R_t وتعطى بالعلاقة التالية:

$$R_t = 2R_c + \left(\frac{R_{sh} l}{W} \right) \quad (11.1)$$

حيث : R_{sh} : المقاومة الموازية: W : طول ناقل معدني : l مسافة بين كل ناقلين معدنيين (Plots métalliques) و R_c : مقاومة التماس [26] .

III. محاكاة مونتي كارلو:

تتأسس طريقة مونتي كارلو على الحساب الرياضي لدوال المتغيرات العشوائية ، وهي طريقة شائعة الاستعمال في جميع مجالات العلوم ، وتعتمد على استخدام الأعداد العشوائية و الاحتمالات الإحصائية في حل المسائل المختلفة [29].

III.1. طريقة مونتي كارلو:

تستند الفكرة الأساسية لطريقة مونتي كارلو، على الاختيار العشوائي للهياكل، و حساب طاقة التفاعل أثناء ذلك، [30] حيث تستخدم هذه المحاكاة في: [4]

- فيزياء الجسيمات
- نظرية الحقل الكمومي
- الفيزياء الفلكية
- النمذجة الجزيئية

إن استخدام طريقة مونتي كارلو لنمذجة المسائل الفيزيائية يسمح بدراسة الجمل المعقدة المولدة عشوائيا من عدد لا متناه من الهياكل التي يمكن أن تشغلها الجلمة.

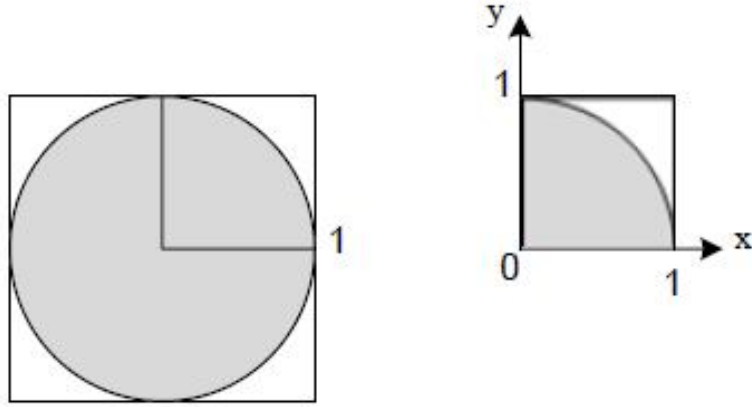
لتوضيح فكرة المحاكاة باستعمال طريقة مونتي كارلو المستندة على الأعداد العشوائية، نطبق الطريقة في حساب قيمة π كمثال.

نعتبر أحد أرباع الدائرة المرسومة داخل المربع، كما في الشكل (25.1) [29].

نأخذ قيم عشوائية لكل من المتغيرين x و y محصور بين $[0,1]$. تقبل الهياكل التي يتحقق فيها الشرط

$$x^2 + y^2 \leq 1$$

إن مجموع الهياكل المقبولة تسمح بتقدير مساحة ربع الدائرة.



الشكل (25.1) تقدير قيمة π [29].

و يمكن تقدير قيمة π بالعلاقة التالية:

$$\pi = \frac{4 * \text{مساحة الربع المضلل من الدائرة}}{\text{مساحة المربع}} \quad (12.I)$$

2.III. خوارزمية مونتي كارلو Metropolis:

ابتكرها العالم Metropolis سنة 1953 هي طريقة ديناميكية تولد التوزيع الاحتمالي المرتكز على إحداثيات عشوائية، حيث:

*تسمح لنا بإجراء تغيرات عشوائية على نماذج معينة (عموما من عدد محدود من المتغيرات المستمرة أو المتقطعة التي تم تغييرها بشكل عشوائي).

* يسمح لنا بحساب الطاقة للحملة بالهيئة الجديدة:

* إذا كان للهيئة الجديدة طاقة أقل من طاقة الهيئة القديمة أو تساويها، أي $\delta E \leq 0$ ، فإن احتمال الهيئة الجديدة أكبر من احتمال الهيئة القديمة أو يساويه، و بالتالي فهي هيئة مقبولة، لأنه يوجد توجه نحو الطاقات الدنيا.

* أما إذا كان للهيئة الجديدة طاقة أكبر، أي $\delta E > 0$ ، فإنه لقبولها يختار عدد عشوائي من المجال $[0, 1]$ ، ويقارن بمعامل بولتزمان، $\exp(-\delta E/KT)$ فإذا كان هذا العدد العشوائي أقل من معامل بولتزمان، فإن هذه الهيئة مقبولة؛ أما إذا كان أكبر

منه، فإن الهيئة الجديدة ترفض، وتعاد الحملة إلى الهيئة السابقة [30].

الفصل الثاني :

النمذجة العددية

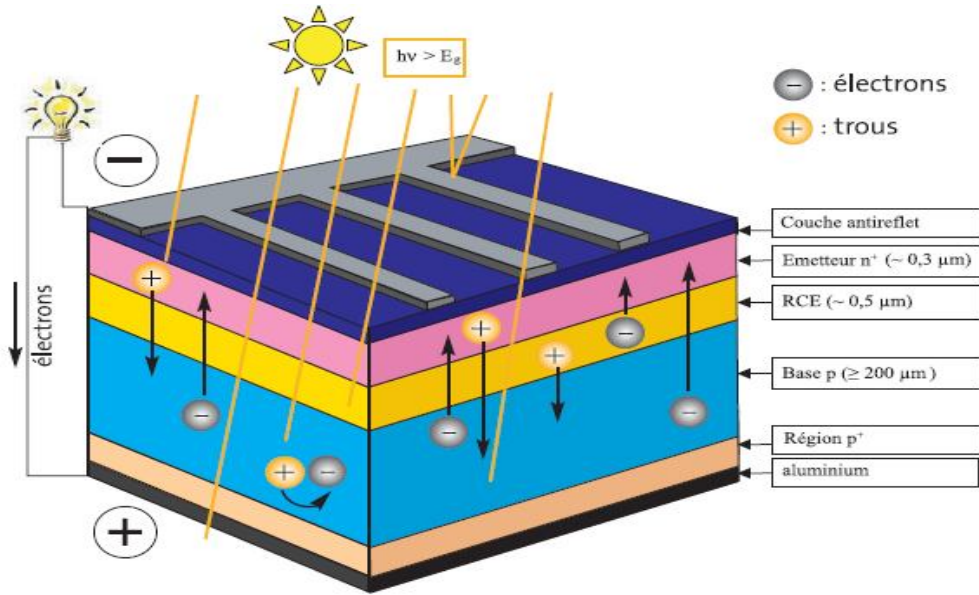
النمذجة العددية

II. مقدمة:

في هذا الفصل نقوم بحساب كثافة التيار الضوئي J_{ph} اعتمادا على المحاكاة العددية و باستعمال طريقة مونت كارلو. اقترحنا للحساب دالة لاختيار الطول الموجي λ للفوتونات الواردة على سطح طبقة رقيقة من السيليكون اللابلوي $a\text{-Si:H}$ مصنعة بواسطة تقنية التوضع الكيميائي المدعم بالبلازما PECVD لخلية شمسية. دالة الاحتمال المقترحة تتوافق مع معادلة بلانك لإشعاع الجسم الأسود.

1.1. الظاهرة الفيزيائية:

تعتبر الخلية الشمسية المصنوعة من السيليكون اللابلوي $a\text{-Si:H}$ عنصرا إلكترونيا يقوم بتوليد طاقة كهربائية عن طريق الفوتونات الواردة من الأشعة الشمس. تصنع هذه الخلية على شكل وصلة (P-i-N). تتميز هذه الوصلة بوجود منطقة نقية i ذاتية بين الطبقتين الناقلتين بحيث تتمكن حوامل الشحنة المولدة ضوئيا في هذه المنطقة من الوصول إلى الأقطاب والمساهمة بالتيار الضوئي، كما يضاف للوصلة (P-i-N) في الجهة التي يرد منها الضوء طبقة ناقلة وشفافة مثل الزجاج وفي الجهة الأخرى تضاف طبقة وصل معدني مثل Al أو Ag. يبلغ طاقة الفجوة 1,45 إلكترون فولت، وعند ورود ضوء الشمس على الخلية يتم توليد الأزواج (إلكترون - ثقب) كما يوضح الشكل (1.11):



الشكل (1.11) بنية خلية السيليكون اللابلوي $a\text{-Si:H}$ [20].

2.II. التدفق Le Flux :

يرمز له ب Φ ، هو الطاقة المنبعثة من مساحة عمودية على اتجاه التدفق ووحدته في نظام الدولي للوحدات هي الواط [W].

3.II. الإنبعا L'Emittance :

هو النسبة بين التدفق الطاقي المنبعث من سطح مضيء $d\Phi$ إلى وحدة المساحة $d\varepsilon$ وتعطى بالعلاقة الآتية :

$$M = \frac{d\Phi}{d\varepsilon} \quad (1.II)$$

ووحدها في النظام الدولي للوحدات هي: $[W. m^{-2}]$

4.II. الإضاءة Luminance :

تقاس شدة إضاءة الضوء بتحديد التدفق المضيء الوارد في وحدة المساحة وفي وحدة الزاوية الصلبة، ووحدها في النظام الدولي

للوحدات هي : $[W . m^{-2} Sr^{-1}]$

5.II. الشدة Intensité :

هي مقياس لكمية التدفق الإشعاعي في كل زاوية صلبة ووحدة قياسها هي واط لكل زاوية صلبة أو هي ذاتها واط لكل ستراديان

وتصاغ بالعلاقة الرياضية الآتية: [31]

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.II)$$

حيث:

Φ : التدفق الإشعاعي

Ω : الزاوية الصلبة

الجدول 1.11: أهم المقادير الفيزيائية المرتبطة بالإشعاع والموافق لها في الضوء بوحدات مختلفة [31].

Grandeur	Nom	unités MKSA	unités (optique)
Φ	<i>Flux</i>	<i>W</i>	<i>lumens</i>
$M = \frac{d\Phi}{d\varepsilon}$	<i>Emittance</i>	$W \cdot m^{-2}$	<i>lux</i>
$L = \frac{d^2\Phi_{Ox}}{d\varepsilon \cos(\theta) d\Omega}$	<i>Luminance</i>	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	<i>candelas \cdot m^{-2}</i>
$I_{Ox} = \frac{d\Phi_{Ox}}{d\Omega}$	<i>Intensité</i>	$W \cdot sr^{-1}$	<i>candelas</i>

6.11. حساب دالة الاحتمال :La fonction de probabilité

قمنا بحساب دالة احتمال ترفق طولاً موجياً لكل فوتون وذلك اعتماداً على معادلة بلانك لإشعاع الجسم الأسود (يعتبر الجسم الأسود جسماً مثالياً يمتص كل الفوتونات الساقطة عليه ، كما يمكنه أيضاً إصدارها).

1.6.11. معادلة بلانك (Équation de plank) :

la loi de plank، وتكتب معادلة بلانك ($W/m^2 \cdot \mu m$) بوحدتها للجسم الأسود *Emittance* تعطي شدة الإصدار

على الشكل التالي [32]:

$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi h C}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (3. II)$$

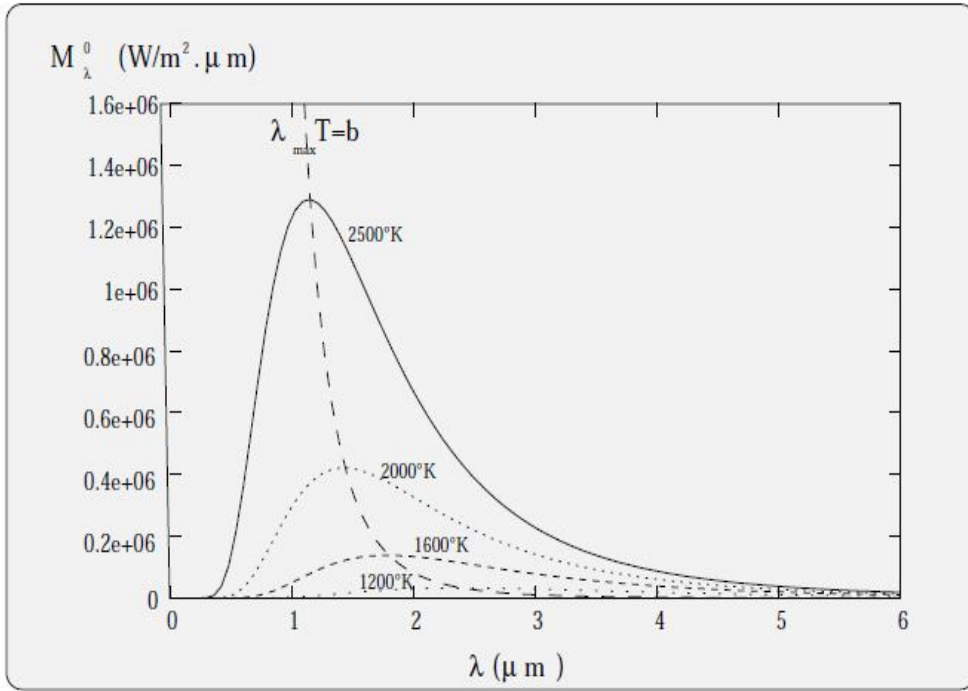
حيث:

C : سرعة الضوء (3.10^8 m/s)

T : درجة حرارة الشمس على سطح الأرض وتعطى ب $T = 5800 \text{ K}$

h : ثابت بلانك $h = 6,62 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{s}$

λ : الطول الموجي ب μm



الشكل (2.11) شدة الإصدار بدلالة الطول الموجي [31].

يتم الحصول على منحى دالة الاحتمال انطلاقا من معادلة الآتية:

$$Pr(\lambda) = \frac{U(\lambda, T)}{U(\lambda_0, T)} = \frac{\lambda_0^5}{\lambda^5} \frac{e^{\frac{hc}{\lambda_0 k T}} - 1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1} \quad (4. II)$$

2.6.11. الطاقة الواردة من الخلية الشمسية:

تم حساب الطاقة الواردة من الخلية الشمسية باستعمال العلاقة التالية :

$$dE_{ph.Cal} = E_L . dt . ds \quad (5. II)$$

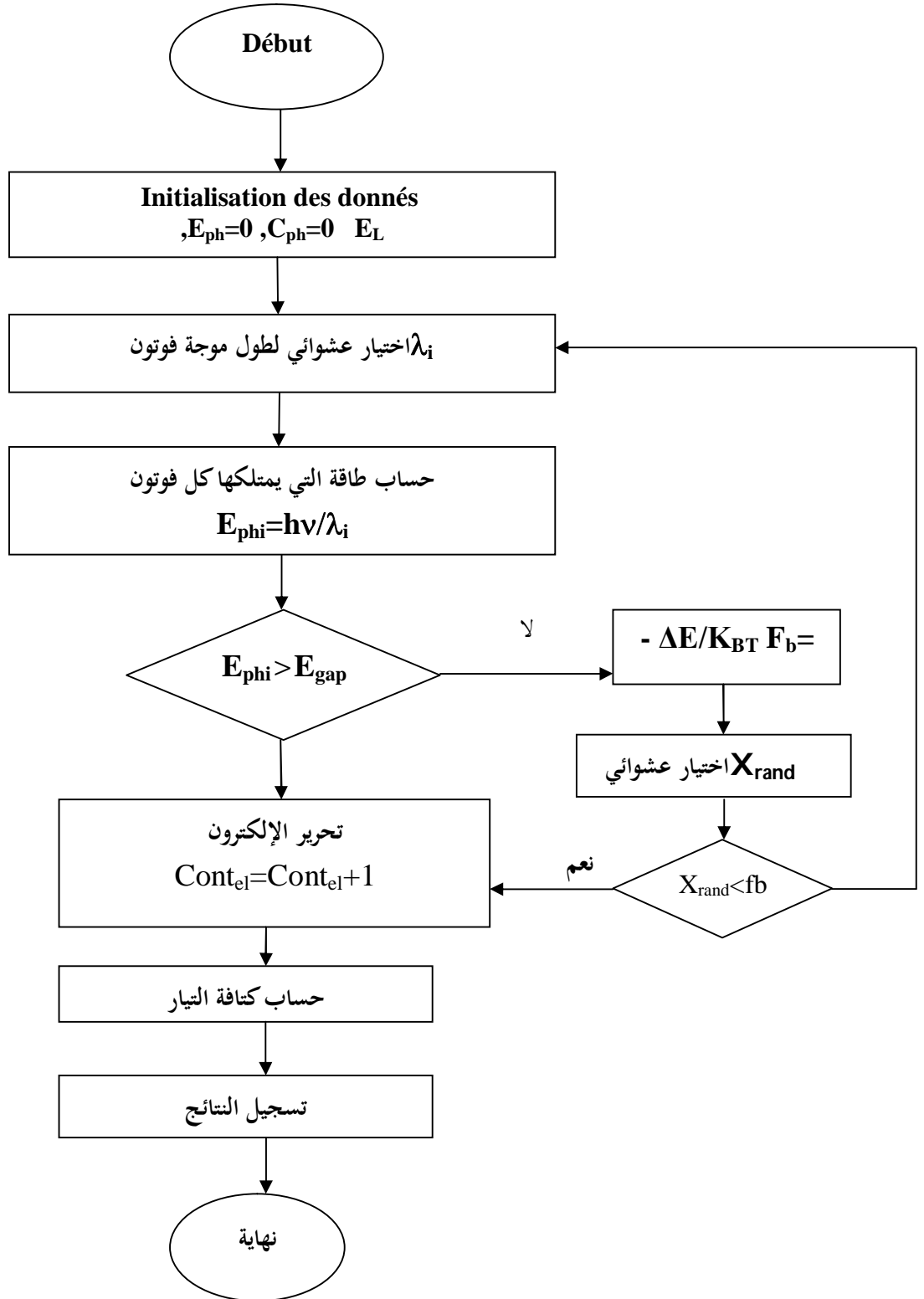
حيث:

E_L : شدة الإضاءة في منطقة ورقة [33].

dt : المدة الزمنية

ds : مساحة

7.11. مخطط حساب كثافة التيار الضوئي:



الشكل (3.11). مخطط من أجل حساب شدة التيار الضوئي.

الفصل الثالث

مناقشة وتحليل النتائج

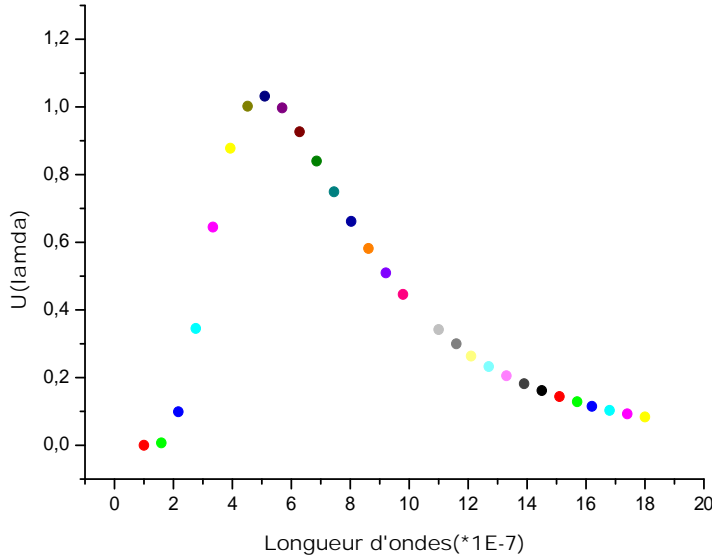
مناقشة وتحليل النتائج

III. مقدمة:

في هذا الفصل نقوم بعرض نتائج محاكاة الإشعاع الشمسي المؤثر على خلية شمسية ذات طبقة $a\text{-Si:H}$ من أجل حساب كثافة التيار الضوئي J_{ph} . استعملنا المحاكاة طريقة موني كارلو. اعتمدنا في إرفاق الطول الموجي لكل فوتون على دالة احتمال تتوافق مع قانون بلانك لإشعاع الجسم الأسود. قمنا أيضا بإيجاد المنحنى المميز تيار- جهد للخلية الشمسية ذات الطبقة الرقيقة $a\text{-Si:H}$ و دراسة تأثير التغيير في المقاومات التسلسلية و الموازية عليه. استعملنا في الدراسة قيم المقاومات التسلسلية: $R_S = 0.2 \Omega$ ، $R_S = 0.3 \Omega$ و $R_S = 0.4 \Omega$. كانت قيم المقاومات الموازية: $R_{sh} = 700 \Omega$ ، $R_{sh} = 400 \Omega$ و $R_{sh} = 1000 \Omega$. حصلنا على المنحنى المميز تيار- جهد للخلية الشمسية ذات الطبقة الرقيقة $a\text{-Si:H}$ عند درجة حرارة $T = 25C^0$

1.III. نتائج دالة الإحتمال لطول الموجي:

من قانون بلانك لإشعاع الجسم الأسود و بالقسمة على كثافة الطيفية لإشعاع عند طول موجي أعظمي نحصل على دالة الاحتمال، يكون منحنى الدالة كما هو مبين في الشكل (1.III).

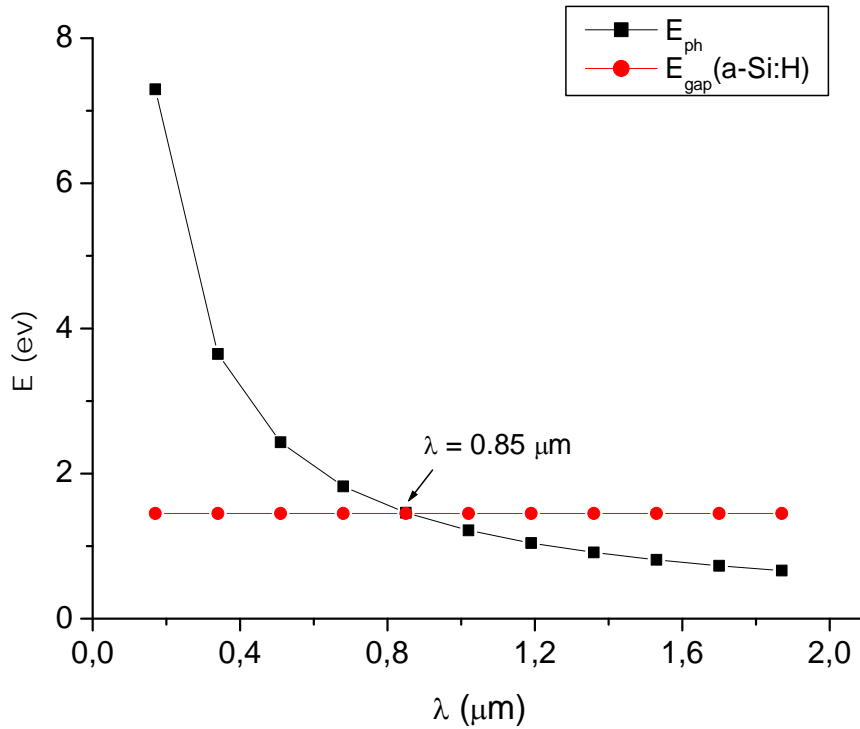


الشكل (1.III): منحنى دالة الاحتمال بدلالة الطول الموجي.

يمثل الشكل (1.111) منحنى دالة الاحتمال لاختبار الطول الموجي المرفق بكل فوتون ،حيث أن دالة الاحتمال تتوافق مع قانون بلانك.

2.111. كثافة التيار الضوئي:

1.2.111. نتائج تغير طاقة الفوتونات بدلالة طول موجي:



الشكل (2.111): منحنى طاقة الفوتونات بدلالة طول الموجي

يمثل الشكل (2.111) تغير طاقة الفوتونات بدلالة الطول الموجي حيث نلاحظ أن طاقة الفوتونات تتناقص بزيادة الطول الموجي،

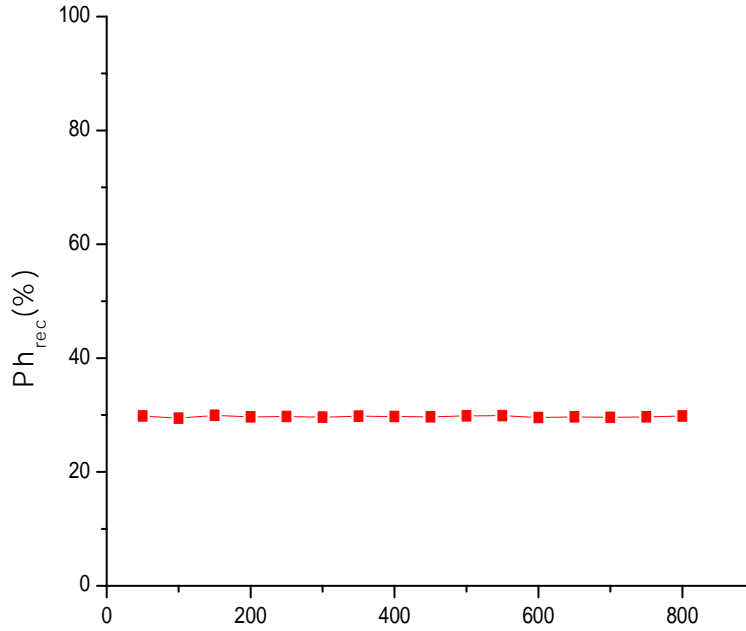
أي أنه كلما زاد الطول الموجي تناقصت طاقة الفوتونات وذلك وفق العلاقة التالية $E(ev) = \frac{1.24}{\lambda(\mu m)}$ ، كما نلاحظ

أن الفوتونات التي تقع فوق طاقة الفجوة تمثل الفوتونات الفعالة والقادرة على تحرير الإلكترونات فهي تنتمي إلى المجال المرئي حيث

$$\lambda < 0.85 \mu m$$

2.2.111. نتائج حساب النسبة المئوية للفوتونات:

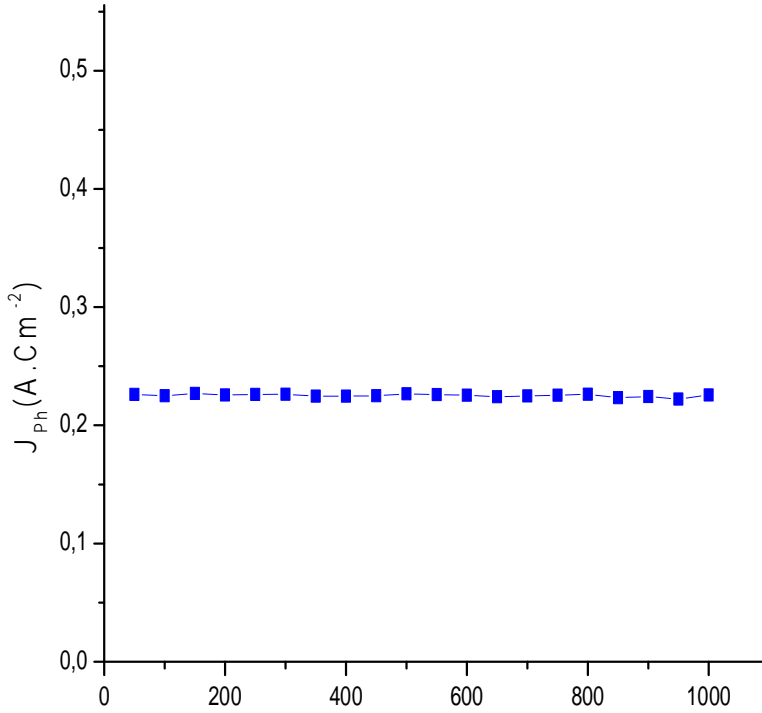
فمنا بحساب النسبة المئوية للفوتونات الفعالة التي تقوم بتحرير الإلكترونات نتائج الحسابات ممثلة في الشكل (3.111).



الشكل (3.111): عدد الفوتونات الفعالة بدلالة محاكاة.

نلاحظ من الشكل (3.111) أن النسبة المئوية للفوتونات الفعالة التي تقوم بتحرير الإلكترونات ثابتة تقدر بـ 30% تقريبا .

3.2.III نتائج كثافة تيار خلال محاكاة



الشكل (4.III): كثافة تيار بدلالة محاكاة

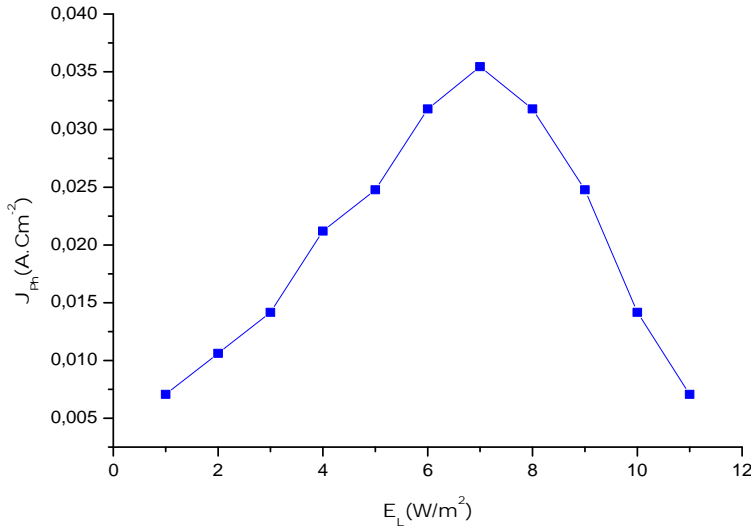
نلاحظ في الشكل (4.III) أن كثافة التيار ثابتة و مساوية تقريبا ل $J_{ph} = 0.22 \text{ (A.cm}^{-2}\text{)}$ ، وهي تنتمي إلى المجال

المذكور في عمل A. Zerga, F. Benyarou et B. Benyoucef et al

4.2.111. نتائج كثافة التيار بدلالة شدة الإضاءة:

الجدول 1.111: تغير شدات الإضاءة في منطقة ورقلة وفق أشهر السنة: [33]

الشهر	شدة الإضاءة $L = [W/m^2]$
جانفي	637
فيفري	768
مارس	798
أفريل	987
ماي	1017
جوان	1014
جويلية	997
أوت	965
سبتمبر	894
أكتوبر	780
نوفمبر	656
ديسمبر	591



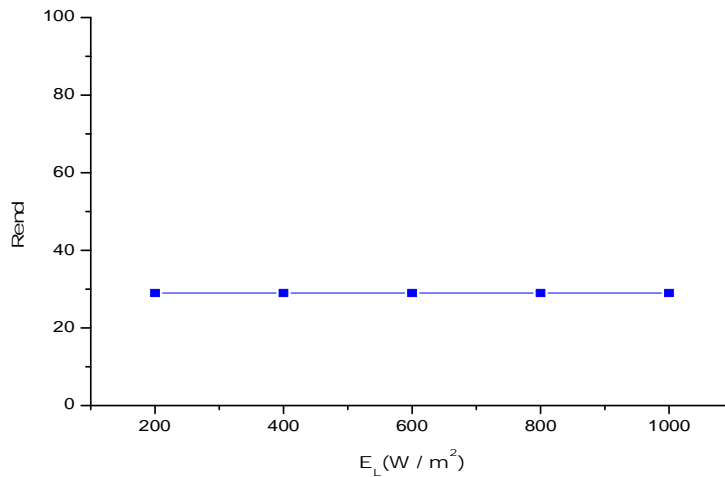
الشكل (5.III): كثافة تيار بدلالة شدة الإضاءة

يمثل منحنى الشكل (5.III) تغير كثافة التيار بدلالة شدة الإضاءة ،حيث أننا نلاحظ أن كثافة التيار تتزايد وفق خط مستقيم

بتزايد شدة الإضاءة أي أن هناك تناسب طردي بين كثافة التيار و شدة الإضاءة. و ميل المنحنى هو:

$$\alpha = 4,05 \times 10^{-5} A/w$$

5.2.III. نتائج المردود بدلالة شدة الإضاءة:



الشكل (6.III): منحنى المردود بدلالة شدة الإضاءة

يمثل منحنى الشكل (6.III) تغير مردود الخلية بدلالة شدة الإضاءة ،حيث أننا نلاحظ أن المردود يكون ثابتة مهما كانت قيم

شدة الإضاءة حيث يكون مساويا ل $\eta = 29\%$.

تعتبر قيمة المردود $\eta = 29\%$ عالية لاعتبار الخلية مثالية و لعدم إدراج مختلف العوامل التي تساهم في ضياع الطاقة، حيث

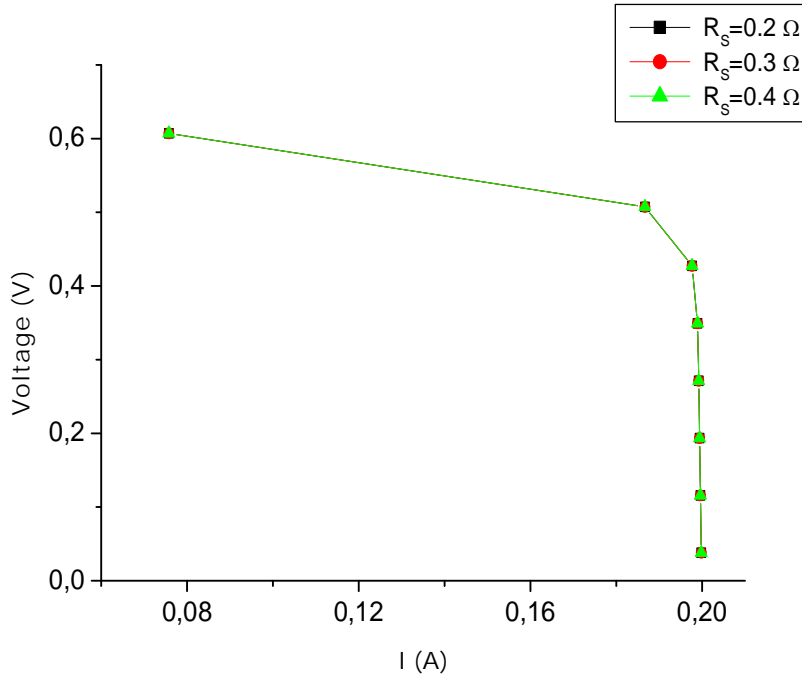
تعطى قيمة المردود في عمل Anne Kaminski et al ب $\eta = 28\%$ و في نفس شرط طاقة الفجوة

$$E_{gap} = 1,45 \text{ eV}$$

3.III. المنحنى المميز تيار-جهد:

1.3.III. تأثير المقاومات التسلسلية R_S على المنحنى المميز تيار-جهد:

من أجل مقاومات $R_S = 0.2 \Omega$ و $R_S = 0.3 \Omega$ و $R_S = 0.4 \Omega$:



الشكل (7.III): تأثير المقاومات التسلسلية R_S على المنحنى المميز تيار-جهد

يمثل الشكل (7.III) تأثير المقاومات التسلسلية على المنحنى المميز تيار-جهد، حيث نلاحظ تطابق المنحنيات الثلاثة وهذا دليل

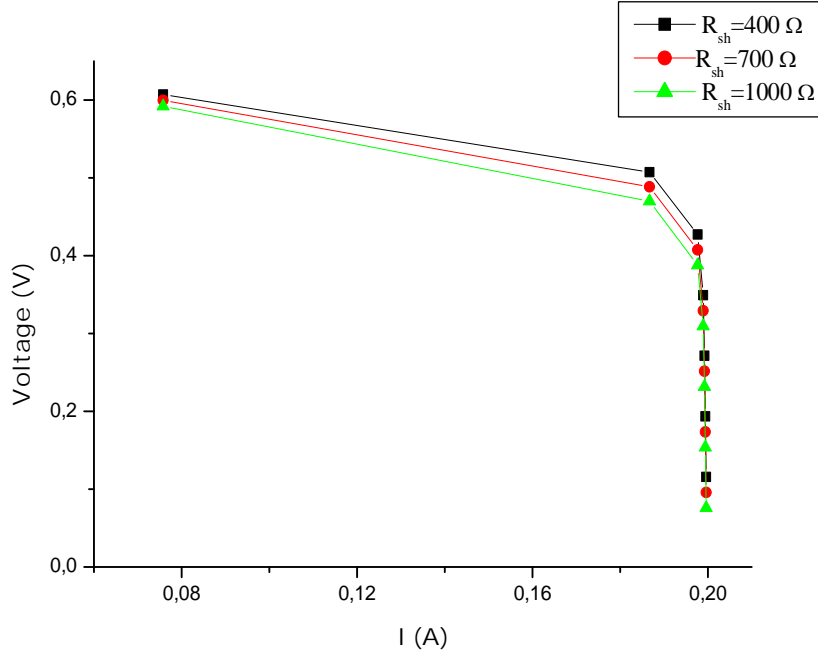
على أن المقاومات التسلسلية لا تؤثر على المنحنى المميز تيار-جهد.

كما نلاحظ أنه من أجل جهد يساوي إلى $0,5V$ تقريبا تكون شدة التيار ثابتة، حيث نتحصل على نفس النتائج مهما كانت

قيم R_S .

2.3.III. تأثير المقاومات الموازية R_{sh} :

من أجل المقاومات $R_{sh} = 400 \Omega$ و $R_{sh} = 700 \Omega$ و $R_{sh} = 1000 \Omega$:



الشكل (8.III): تأثير المقاومات الموازية على المنحنى المميز تيار-جهد

يمثل الشكل (8.III) تؤثر المقاومات الموازية على المنحنى المميز تيار-جهد، حيث نلاحظ تناقص في الجهد و اختلاف ضئيل

في المنحنيات الثلاثة دليل على أن المقاومات الموازية تؤثر قليلا على المنحنى المميز تيار-جهد عند توتر أكبر من $0,4V$.

كما نلاحظ أنه من أجل توتر أقل من $0,4V$ لا تؤثر المقاومات الموازية على المنحنى المميز تيار-جهد، و هذا يتوافق مع

نتائج [20] Anne Kaminski .

الخلاصة العلمية

الخلاصة العامة

خلق الله الشمس آية دالة على كمال قدرته وعظيم سلطانه. فذكرها عز وجل في محكم آياته (هو الذي جعل الشمس ضياء والقمر نورا وقدره منازل لتعلموا عدد السنين والحساب ما خلق الله ذلك إلا بالحق يفصل الآيات لقوم يعلمون) سورة يونس الآية 5. فهي من أعظم نعم الله تعالى و هي ترسل أشعتها إلى الأرض فتبعث فيها الحياة.

فالطاقة الشمسية من أهم الطاقات المتجددة النظيفة التي تصل إلى سطح الأرض عن طريق الأشعة الشمسية، والتي يمكن تحويلها إلى طاقة كهربائية و حرارية من خلال آليتي التحويل الكهروضوئي (بواسطة الخلايا الشمسية) والتحويل الحراري.

في هذه المذكرة قمنا بمحاكاة عددية بطريقة مونت كارلو لخلية شمسية ذات طبقة رقيقة من نوع $a\text{-Si:H}$ مرسبة بتقنية التوضع الكيميائي المدعمة بالبلازما PECVD ، لهذه الطبقة الرقيقة طاقة فجوة تقدر ب $E_{\text{gap}}=1.45 \text{ eV}$.

أنجزنا في هذا العمل حسابا عدديا بلغة الفورترن وباستعمال محاكاة مونت كارلو بحسب كثافة التيار الضوئي. كما قمنا بحساب نسبة الفوتونات الفعالة و تحديد أطوال الموجات الموافقة لها. وجدنا أن للفوتونات الفعالة أطوال موجات في منطقة ما فوق البنفسجي UV و هذا يتوافق مع أعمال كثيرة. قمنا كذلك بإيجاد المنحنى المميز تيار-جهد لهذه الخلية الشمسية و درسنا تأثير المقاومات التسلسلية و المقاومات الموازية على هذا المنحنى. أبدت النتائج التي تحصلنا عليها توافقا مع نتائج Anne Kaminski [20] .

يمكن إجراء دراسات أكثر تعمقا على هذا النوع من الخلايا الشمسية من حيث تأثير الإنعكاس الضوئي وكذا مدى حياة الفوتونات على كثافة التيار، كما يمكن إجراء دراسات تجريبية تتعلق بإنشاء هذه الطبقة لخلية شمسية و دراسة مدى تأثير مختلف الشروط الفيزيائية على الخصائص الكهربائية لهذه الخلية.

المراجع

- [1] O. Babahani ; "Contribution à l'étude des plasmas lors de déposition sur couches minces par procédés CVD " ; Mémoire de magister, Université de Ouargla (2004).
- [2] K.AMARA; "Contribution à l'étude de conception d'une central photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension " ; Mémoire de magister ; Université mouloud mammeri de Tizi-ouzou (2014/2015).
- [3] S. Benramache ; "Elaboration et caractérisation des couches minces de ZnO dopées cobalt et indium" ; Thèse de Doctorat ; Université de Biskra (2012).
- [4] S.Hadjadj ;" calcul par la méthode de Mont Carlo des probabilités de la réactivité à la surface lors de la déposition d'une couche mince a-Si:H par le procédé PECVD";Mémoire de master; Université de ouargla (2015).
- [5] N. Attaf; "Etude Energétique d'une décharge luminescente utilisée dans le dépôt de couche mince de a-Si" ; Thèse de Doctorat ; Université Constantine (2003).
- [6] سماحي إيمان ، "تأثير المعالجة الحرارية على طبقات رقيقة من TiO_2 المرسبة على مساند من الزجاج " مذكرة ماستر أكاديمي جامعة قاصدي مرياح ورقلة (2014).
- [7] F.Yaninb ;"Contribution à l'élaboration de couches minces d'Oxydes Transparents Conducteurs (TCO) " ; Mémoire de magister ; Université Mentouri, Constantine (2010).
- [8] N. Cheung, U. C. Berkeley ; «Chemical Vapor Deposition (CVD) »; Lecture 13, EE **143**, pp5 (2010).
- [9] K. H. O. Keltoum ; «Contribution a l'étude par la simulation numérique de Dynamique Moléculaire de la croissance des couches minces par procédé PECVD » ; Thèse de Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla (2013).
- [10] O. Babahani et F. Khelfaoui ; «Calcul des concentrations de molécules et de radicaux lors de déposition de couches minces a-Si:H par procédés PECVD» ; Université Kasdi Merbah Ouargla ; Annales des Sciences et Technologie, Vol. **4**, N° 2, pp 115-117 (2012).
- [11] A. Erradi, « Etude de l'interaction de l'hydrogène avec les couches minces de carbone amorphe hydrogène (a-C:H) », Thèse de doctorat, Université Toulouse (2011).
- [12] M. Eliaoui, « Caractérisation, modélisation et synthèse de films minces de nitrure de bore (BN) par dépôt chimique », thèse doctorat, Université de Metz et de Fes, (2006).
- [13] A. Khaled ;" Elaboration de nouvelles phases de silicium couches minces" ; Mémoire de magister ; Université Mentouri, Constantine (2008).
- [14] O.Babahani ; "Simulation numérique par la méthode de Monte Carlo de la déposition de couche mince par procédé CVD " ; Thèse de Doctorat ; Université de Ouargla (2013).

[15] S. B. Zabardjade ; Élaboration et caractérisations du silicium polycristallin par cristallisation en phase liquide du silicium amorphe"; Thèse de Doctorat ; Université Paris Sud (2012).

[16] نور خلف ، حشيفة ليلي، "استعمال الطاقة الشمسية لتسخين المياه الصحية" المركز الجامعي بالوادي (2012/2011).

[17] سوداني عبد البار، "دراسة نظرية لمجمع شمسي اسطواني مقعر ذي غطاء زجاجي " مذكرة ماجستير جامعة قاصدي مرياح ورقة (2009).

[18] مسعودي ضاوية ، "تأثير مخروط عاكس على تركيز مركز شمسي " مذكرة ماستر أكاديمي جامعة قاصدي مرياح ورقة (2001).

[19] علي ناجي حمودي ، "دراسة وتنفيذ وتحسين اداء محطة الضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية" دراسة اعدادات لنيل درجة الماجستير في الهندسة القوى

الميكانيكية جامعة تشرين(2008-2009).

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

[21] البهلول اليعقوبي "الكتاب حول العناصر الألكترونية تنائي شبه موصل.(book of Semiconductor Diode) سنة (1987)

[22] أ " سندي دانيا، "معمل الإلكترونات إعداد مذكرة سنة" / (2000).

[23] S.Oussidhoum ; "Etude comparative de performance de cellules solaires à jonction simple et multiple " ; Mémoire de magister ; Université mouloud mammeri de Tizi-ouzou (2015).

[24] B. Dalati;Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (36) No. (3) (2014).

[25] سمير سعدون، مصطفى. بلال عبد الله الناصر . محمود خضر سلمان" كتاب حول الطاقة البديلة طبعة " (2010).

[26] R. Théodulf;" Elaboration et caractérisation de cellules solaires organiques à base de nouvelles classes de matériaux actifs ";Thèse de doctorat; Université d'ANGERS (2011).

[27] A. Zerga, F. Benyarou et B. Benyoucef Institut de Physique - Laboratoire de Physique Energétique et Matériaux Université de Tlemcen, B.P. 119, 13000 Tlemcen (2010)

[28] R .Louardi; "Silicium poreux passivé par des nitrures et des oxydes de silicium. Application aux revêtements anti-réfléchissants" ; Université Mentouri-Constantine (2011).

[29] قريشة سليمة ، "مساهمة في دراسة توزيعات المشتقات الفضائية للحقول الكهربائية الموضوعية في البلازما" مذكرة ماجستير جامعة قاصدي مرياح ورقة (2008).

[30] شبحي إسماعيل، " حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضوعي و مشتقاته داخل البلازما، باستخدام المحاكاة العددية مونت كارلو: تطبيق على

طيف الهيليوم" مذكرة دكتوراه جامعة منتوري -قسنطينة (2005) .

[31] I.U.T. de Saint-Omer Dunkerque " COURS DE RAYONNEMENT "Olivie PERROT (2010-2011).

[32] N. Boufelgha; "Les probabilités non commutatives et représentation probabiliste à la solution de l'équation de Schrödinger";Mémoire de magister ;Universite Ferhat Abbas-Setif (2013) .

[33] Michel. Capderou;" Atlas solaire de Algérie TMOE2 "Office de publications; Universitaire ANGERS (1987).

ملخص:

الخلايا الشمسية أو الفولطية هي عناصر تقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية. نتم في هذه الدراسة بالطبقة الرقيقة $a\text{-Si:H}$ الخلية شمسية مرسبة بواسطة التوضع الكيميائي المدعم بالبلازما PECVD. اقترحنا في هذا العمل حساب عددي بلغة الفورترن واستعملنا محاكاة مونت كارلو لحساب كثافة التيار الضوئي. كما قمنا بحساب نسبة الفوتونات الفعالة و تحديد أطوال الموجات الموافقة لها. الفوتونات الفعالة لها أطوال الموجات في منطقة ما فوق البنفسجي UV و هذا يتوافق مع أعمال كثيرة. قمنا كذلك بإيجاد المنحنى المميز تيار- جهد للخلية الشمسية و دراسة تأثير المقاومات التسلسلية و المقاومات الموازية على هذا المنحنى.

كلمات المقترحة: خلية ضوئية ، الطبقات الرقيقة $a\text{-Si:H}$ ، PECVD ، الوصلة P-N، الإشعاع الضوئي، محاكاة مونت كارلو.

Résumé :

Les cellules solaire ou photovoltaïque sont des composantes qui permettent de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Nous nous intéressons, dans cette étude, au couche (a-Si: H) d'une cellule solaire déposé par procédé assisté par Plasma PECVD. Dans ce travail, nous avons proposé un calcul numérique en utilisant le langage fortran, nous avons utilisé la simulation Monte Carlo pour calculer la densité du courant. Nous avons calculé la proportion des photons efficace. Nous avons déterminé les longueurs d'ondes des photons efficaces. Ces longueurs d'ondes sont dans le domaine de l'ultra violet UV. Ce résultat est cohérent avec plusieurs travaux. Nous avons obtenu la courbe caractéristique I-V du composant cellule solaire et étudié l'effet des résistances série et parallèle sur cette courbe.

Mots de clefs : Cellule solaire, Couche mince a-Si:H, PECVD, Jonction P-N, Rayonnement solaire, Simulation Monte Carlo.

Summary :

A Solar or photovoltaic cells are components that convert solar energy into electrical energy. In this study, we are interested in the (a-Si: H) layer for a solar cell deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition process PECVD. In this work, we proposed a numerical calculation using FORTRAN language. We used Monte Carlo simulation to calculate current density. We calculated also the rate of effective photons and we determined the wavelengths of them. These wavelengths are in ultra violet field UV. This result is coherent with several works. We obtained the characteristic curve I-V of the solar cell component and we studied the effect of series resistances and parallel resistances on this curve.

Key words : Solar cell, a-Si:H thin films, PECVD, P-N Junction, Solar radiation, Monte Carlo Simulation.