



رقم التسلسلي.....

رقم الترتيب.....

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة تخرج لنيل شهادة الماستر

التخصص: فيزياء طاقوية وطاقات متجددة

من إعداد: ديبونة عبد الباسط قماري عبد الله

الموضوع:

محاكاة خلية شمسية باستعمال برنامج سيلفاكو
أطلس SILVACO-ATLAS

يوم 2022/06/08

لجنة المناقشة المتكونة من:

| | | | |
|--------|-------------|--------------|------------------|
| رئيسا | جامعة ورقلة | أ. مساعد أ | بوعنان رابح |
| مناقشا | جامعة ورقلة | أ. محاضر أ | بلحاج محمد مصطفى |
| مشرفة | جامعة ورقلة | أ. تعليم عال | باباحني أم الخير |

السنة الجامعية 2022/2021

شكر وعرفان

حمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات والسلام على سيدنا محمد وعلى آله

وصحبه ومن إبتدى بهديه إلى يوم الدين.

نتوجه بجزيل الشكر إلى المنة والإمتنان أولا وأخيرا وهو القائل: "لَئِن شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ"، والحمد

لله الذي وفقنا لهذه المذكرة وسدد خطانا.

نتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى أستاذتنا الفاضلة "بابا حني أم الخير" على تفضلها بقبول

الإشراف على هذه المذكرة وعلى ما أبدته من رأي سديد وملاحظات وتوجيهات مفيدة

بارك الله في عملها وأثار طريقها إلى ما فيه الخير وجعله الله في ميزان حسناتها.

كما نتوجه بالشكر إلى أستاذتنا لجنة المناقشة، على تفضلهم بقبول مناقشة هذه المذكرة

وإعطائنا الملاحظات والتوجيهات السديدة جزأهم الله عنا كل خير.

ونتوجه أيضا بجزيل الشكر والتقدير للمشرفين على مخبر إشعاع البلازما وفيزياء السطوح لجامعة

قاصدي مراح بورقلة، وإلى كل أستاذتنا الأفاضل الذين غرسو فينا بذرة العلم وإلى كل من

علمني حرفا من الابتدائي إلى الجامع. وفي الأخير أتقدم بالشكر الجزيل إلى الوالدين الأكارم

الذين علمونا مكارم الأخلاق وإلى الأهل والأقارب وإلى كل من ساعدني من قريب أو بعيد.

إلى كل من نساه قلبي و لم ينساه قلبي أهدىكم هذا العمل و راجيين من

الله عز وجل القبول و النجاح

الإهداء

إلهي لا تطيب لي الليل إلا بشركك و بطاعتك

إلهي لا تطيب لي اللحظات إلا بذكرك ولا تطيب لي الأخرة إلا بعفوك.

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة و نصح الأمة سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم النبي الرحمة ونور العلم

إلى الذين قال فيهم الله عز وجل "وقضى ربك ألا تعبدوا إلا إياه وبالوالدين إحسانا "

أهدي ثمرة جهدي إلى **والدي الغالي** الذي وهبني كل ما يملك حتى أحقق له أماله، إلى من

كان يدفعني قدما نحو الإمام ليراني في مثل هذا اليوم أطل الله في عمرك

إلى **أمي الحبيبة** الشمعة التي أنارت طريقتي فكان دمانها سر نجاحي ، إلى من إرتحت كلما تذكرت

ابتسامتها إلى نبع الصبر والحنان أطل الله في عمرك لتري ثمارا حان قطافها

إلى **إخوتي و أخواتي** إلى من حبهم يجري في عروقي و يلهم بذكرهم فؤادي، سندي و سر

قوتي في الحياة

إلى من سرنا سويا نشق الطريق معا نحو النجاح **أصدقائي وزملائي** في الدفعة فيزياء الطاقوية والطاقات

المتجددة 2022

إلى معلمي وقادوتي في الحياة الذي علمني كلام الله " **الإمام مبروك بن محرابي** " حفظه الله ورحمه

كما أهدي هذا العمل إلى كل العائلة الكريمة وإلى كل من نساه قلبي ولم ينساه قلبي

راجيا من الله عز وجل القبول والنجاح

"محمد الراسط"

الإهداء

قال تعالى (قُلْ إِنَّمَا أَسْأَلُ اللَّهَ بِمَلَائِكَةِ اللَّهِ مَلَائِكَةً وَمَنْ أَسْأَلُ اللَّهَ بِمَلَائِكَةِ اللَّهِ مَلَائِكَةً)

الحمد لله وكفى والصلوة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد

الحمد لله الذي وفقنا لتتمة هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد

والنجاح بفضلته تعالى إلى من كلله الله بالصيبة والوقار إلى من علمني العطاء بدون انتظار إلى من

أحمل اسمه بكل إفتخار. أرجو من الله أن يرحمك و يتقبلك من الشهداء وستبقى كلماتك

نجوم أمتدي بها اليوم وفي الغد وإلى الأبد **والدي العزيز** رحمه الله إلى ملاكي في الحياة ..

إلى معنى الحب و إلى معنى العنان والتفاني .. إلى بسمه الحياة وسر الوجود إلى من كان دمانها

سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى الحبايب **أمي الحبيبة** إلى كل أخواتي وإخوتي وكل الأصدقاء

إلى دفعة فيزياء الطاقوية 2022

إلى منارة العلم والعلماء أساتذتنا الأفاضل

عزى الله

فهرس المحتويات

| الصفحة | العنوان |
|--------|----------------|
| I | شكر و عرفان |
| IV | فهرس المحتويات |
| XI | فهرس الجداول |
| IX | فهرس الأشكال |
| XI | قائمة الرموز |
| XIV | مقدمة عامة |

الفصل الأول: عموميات حول الخلايا الشمسية

| | |
|----|-----------------------------------|
| 1 | مقدمة |
| 2 | 1-تعريف الشمس |
| 3 | 2-الطاقة الشمسية |
| 3 | 3-الإشعاع الشمسي |
| 3 | 1.3-تعريف الإشعاع الشمسي |
| 4 | 2.3-طيف الإشعاع الشمسي |
| 5 | 4-الثابت الشمسي |
| 6 | 5-تحويل الطاقة الشمسية |
| 6 | 1.5-الطاقة الكهربائية |
| 6 | 2.5-الطاقة حرارية |
| 7 | 6-النواقل وانصاف النواقل والعوازل |
| 8 | 7-التطعيم "Dopage" |
| 9 | 8-ثنائي الوصلة |
| 10 | 9-ثنائي الوصلة عند الاستقرار |

| الصفحة | العنوان |
|--------|--|
| 11 | 10-طاقة الفوطونات ودالة الشغل |
| 11 | 10-1-طاقة الفوطون |
| 11 | 10-2-دالة الشغل |
| 14 | 11-الخلايا الشمسية |
| 14 | 11-1-تعريف خلايا الشمسية |
| 15 | 11-2-خصائص الكهربائية للخلية الشمسية |
| 15 | 11-2-1-المنحني المميز تيار جهد للخلية الشمسية IV |
| 16 | 11-2-2-جهد الدارة المفتوحة V_{oc} |
| 17 | 11-2-3-تيار الدارة القصيرة I_{sc} |
| 17 | 11-2-4-الاستطاعة الاعظمية P_{max} |
| 17 | 11-2-5-معامل الشكل FF |
| 17 | 11-2-6-كفاءة الخلية الشمسية |
| 18 | 12-الدارة المكافئة للخلية الشمسية ومحدداتها |
| 18 | 12-1-محاكاة خلية شمسية بديود واحد او صمام ثنائي |
| 20 | 12-2-دارة مثالية مكافئة للخلية الشمسية |
| 21 | 13-انواع الخلايا الشمسية |
| 22 | 13-1-خلايا شمسية متبلورة |
| 22 | 13-1-1-خلايا احادية التبلور "mono crystalline" |
| 22 | 13-1-2-خلايا متعددة التبلور "poly crystalline" |
| 23 | 13-2- خلايا شمسية رقيقة |
| 24 | 13-2-1-خلايا متعددة الطبقات |
| 24 | 13-2-2-خلايا الكالسيوم |
| 24 | 13-2-3-خلايا النحاس |

| الصفحة | العنوان |
|--------|---|
| 25 | 4-2-13-خلايا الغاليوم |
| 25 | 3-13- خلايا شمسية عضوية (opv) |
| 26 | 4-13- خلايا الشمسية الكهروضوئية المركزة |
| 27 | 14-مكونات الخلية الشمسية |
| 27 | 15-آلية عمل الخلايا الشمسية |
| 28 | 16-ملحقات الخلية الشمسية |
| 28 | 1-16-الألواح الشمسية |
| 29 | 2-16-منظمات الشحن |
| 30 | 3-16-البطاريات |
| 30 | 4-16-العواكس (inverters) |
| 31 | 17-ايجابيات وسلبيات الخلايا الشمسية |
| 31 | الخلاصة |
| | الفصل الثاني: التعرف على برنامج سيلفاكو أتلس (silvaco-atlas) |
| 33 | مقدمة |
| 33 | 1-نظرة عامة عن سيلفاكو أتلس (silvaco-atlas) |
| 33 | 2-تعريفات |
| 33 | 1.2-(silvaco international) |
| 33 | 2.2-(silvaco-atlas) |
| 34 | DECKBUILD-3 |
| 35 | 4-أتلس "Atlas" |
| 36 | TONYPLOT-5 |
| 38 | 6-المخطط العام لبرنامج (silvaco-atlas) |
| 39 | 7-تحديد البنية |

| الصفحة | العنوان |
|--------|--|
| 39 | 1.7-الشبكة (Mesh) |
| 40 | 2.7-المناطق والمواد "Region et Material" |
| 40 | 3.7-القطب الكهربائي (Electrode) |
| 40 | 1.3.7-الكتروودات وهمية |
| 40 | 2.3.7-الكتروودات حقيقية |
| 41 | 4.7-التطعيم (Dopage) |
| 41 | 1.4.7-التطعيم المنتظم |
| 41 | 2.4.7-التطعيم العشوائي |
| 41 | 8-المواد والنماذج المستعملة |
| 41 | 1.8-النماذج الفيزيائية المستعملة |
| 42 | 2.8-الوصلات المستعملة (contacts) |
| 42 | 3.8-الواجهة (interface) |
| 42 | 4.8-الضوء (Lumier) |
| 42 | 5.8-خصائص المواد |
| 43 | 9-الطرق الرقمية للحل |
| 43 | 1.9-طريقة (Gummel) |
| 43 | 2.9-طريقة (Newton) |
| 43 | 3.9-طريقة (Block) |
| 44 | 10-تحديد الحل |
| 44 | 1.10-إعطاء الأمر بانطلاق الحساب |
| 44 | 2.10-إنشاء ملفات الحفظ النتائج |
| 44 | 11-عرض النتائج |
| 45 | الخلاصة |

الفصل الثالث: المحاكاة والنتائج

| الصفحة | العنوان |
|--------|--|
| 47 | مقدمة |
| 47 | 1- الجانب التجريبي |
| 47 | 1--1 مبدأ العمل |
| 49 | 2-1 قيم الجهد والتيار والإستطاعة |
| 50 | 3-1 المنحني المميز (IV) |
| 50 | 4-1 منحنى الاستطاعة (PV) |
| 52 | 5-1 المقادير المميزة |
| 53 | 2- محاكاة خلية شمسية ببرنامج سيلفاكو اطلس |
| 53 | 1-2 المحاكاة في الظلام |
| 54 | 1-1-2 تعريف البنية |
| 59 | 2-1-2 المواد والنماذج المستعملة |
| 60 | 3-1-2 الطرق الرقمية |
| 61 | 4-1-2 تخصيص الحل وعرض النتائج |
| 63 | 2-2 محاكاة في الضوء |
| 63 | 1-2-2 تعريف الحزمة الضوئية |
| 66 | 2-2-2 تطبيق الحزمة الضوئية على الخلية |
| 67 | 3-2-2 استخراج الخصائص خلية الشمسية |
| 69 | 3- النتائج |
| 69 | 1-3 البنية المدروسة |
| 72 | 2-3 دراسة تأثير شدة الإضاءة بالمحاكاة |
| 73 | 3-3 دراسة تأثير زاوية السقوط الضوء بالمحاكاة |
| 75 | الخلاصة |
| 76 | الخاتمة العامة |

فهرس الأشكال

| الصفحة | العنوان | الشكل |
|--------|--|--------------|
| | الفصل الأول | |
| 2 | أبعاد الشمس والأرض والمسافة بينهما | الشكل (1-1) |
| 3 | أنواع الإشعاع الشمسي | الشكل (2-1) |
| 4 | توزيع الإشعاع الشمسي | الشكل (3-1) |
| 5 | منحنى الثابت الشمسي خلال السنة | الشكل (4-1) |
| 6 | مخطط استخدامات الطاقة الشمسية | الشكل (5-1) |
| 8 | الفجوة الطاقية الممنوعة Eg | الشكل (6-1) |
| 9 | تشكل الوصلة (n-p) | الشكل (7-1) |
| 9 | ثنائي الوصلة | الشكل (8-1) |
| 10 | ثنائي الوصلة عند الاستقرار | الشكل (9-1) |
| 11 | منطقة الشحن الفراغية في الوصلة n-p | الشكل (10-1) |
| 15 | منحنى المميز تيار جهد في الظلام والضوء | الشكل (11-1) |
| 16 | منحنى المميز الخصائص الكهربائية | الشكل (12-1) |
| 19 | الدائرة الحقيقية المكافئة للخلية الشمسية | الشكل (13-1) |
| 20 | الدائرة المثالية المكافئة للخلية الشمسية | الشكل (14-1) |
| 21 | أثر R_s المقاومة التسلسلية على المنحنى المميز للخلية الشمسية | الشكل (15-1) |
| 21 | أثر R_{sh} المقاومة التفرعية على المنحنى المميز للخلية الشمسية | الشكل (16-1) |
| 23 | خلايا احادية التبلور ومتعددة التبلور وغير المتبلورة | الشكل (17-1) |
| 24 | أشكال الخلايا الرقيقة | الشكل (18-1) |
| 26 | مجموعة خلايا الشمسية بتقنية الصبغات العضوية | الشكل (19-1) |
| 26 | الخلايا الكهروضوئية المركزة (CPV) | الشكل (20-1) |
| 27 | بنية السليكون | الشكل (21-1) |
| 28 | فكرة عمل خلية الشمسية | الشكل (22-1) |
| 29 | الالواح الشمسية | الشكل (23-1) |

| الصفحة | العنوان | الشكل |
|--------|--|--------------|
| 30 | عاكس الخلية الشمسية ومنظم الشحن والبطارية | الشكل (1-24) |
| | الفصل الثاني | |
| 34 | الواجهة الرئيسية ل Deckbuild | الشكل (1-2) |
| 35 | مخطط التواصل بين جميع مكونات سيلفاكو | الشكل (2-2) |
| 36 | مداخل ومخارج اطلس | الشكل (2-3) |
| 37 | واجهة Tonyplot | الشكل (2-4) |
| 37 | النتائج التي تم الحصول عليها من محاكاة في الواجهة Tonyplot | الشكل (2-5) |
| 38 | مخطط الانسيابي العام لبرنامج سيلفاكو اطلس | الشكل (2-6) |
| 39 | تقسيم الشبكة | الشكل (2-7) |
| 40 | تقسيم المناطق إلى مواد مختلفة | الشكل (2-8) |
| | الفصل الثالث | |
| 48 | صورة للخلية المدروسة | الشكل (3-1) |
| 49 | العمل التجريبي | الشكل (3-2) |
| 50 | تغيرات شدة التيار بدلالة الجهد | الشكل (3-3) |
| 50 | تغيرات الإستطاعة بدلالة الجهد | الشكل (3-4) |
| 51 | توافق المنحنيات النظرية مع التجريبية | الشكل (3-5) |
| 59 | نموذج لملف خارجي يعرف توزيع التظعيم | الشكل (3-6) |
| 64 | تسليط الحزمة الضوئية على البنية | الشكل (3-7) |
| 70 | بنية الخلية المدروسة في المحاكاة | الشكل (3-8) |
| 71 | منحنى المميز IV المتحصل عليه من المحاكاة | الشكل (3-9) |
| 71 | منحنى المميز PV المتحصل عليه من المحاكاة | الشكل (3-10) |
| 72 | تغيرات تيار قصر الدارة والجهد الدارة المفتوحة الإستطاعة الاعظمية والكفاءة بدلالة شدة الإضاءة | الشكل (3-11) |
| 74 | تغيرات تيار قصر الدارة والجهد الدارة المفتوحة الإستطاعة الاعظمية والكفاءة بدلالة زاوية الضوء | الشكل (3-12) |

فهرس الجداول

| الصفحة | العنوان | الجدول |
|--------|--|--------------|
| | الفصل الأول | |
| 12 | دالة الشغل لكل عنصر | الجدول (1-1) |
| 14 | الطول الموجي والتردد والطاقة لألوان الطيف | الجدول (2-1) |
| | الفصل الثالث | |
| 47 | أهم الأدوات المستعملة والغرض منها | الجدول (1-3) |
| 49 | قيم الجهد والتيار والاستطاعة | الجدول (2-3) |
| 52 | المقادير المميز للخلية الشمسية تجريبيا | الجدول (3-3) |
| 54 | خطوات والأوامر بالترتيب | الجدول (4-3) |
| 70 | المقادير المميزة للخلية الشمسية بالمحاكاة | الجدول (5-3) |
| 72 | تغيرات المقادير المميز بدلالة شدة الإضاءة | الجدول (6-3) |
| 73 | تغيرات المقادير المميز بدلالة زاوية السقوط الضوء | الجدول (7-3) |

قائمة الرموز

| الوحدة | المذلول | الرمز |
|---------------|---------------------|-----------|
| μM | الأشعة الكونية | RC |
| μM | الأشعة غامة | RY |
| μM | الأشعة السينية | RX |
| μM | الأشعة فوق البنفسجي | UV |
| μM | الأشعة المرئية | LV |
| μM | الأشعة تحت الحمراء | IR |
| / | رقم اليوم | Nj |
| Hz | تردد الموجة | ν |
| μm | طول الموجة | λ |

| وحدته | مدلوله | الرمز |
|------------------|---------------------------------|------------------|
| m/s | سرعة الضوء | C |
| J*s | ثابت بلانك | H |
| J | الطاقة | E |
| w/m ² | ثابت الشمسي | I ₀ |
| w/m ² | تصحيح ثابت الشمسي | I |
| A | تيار ضوئي | I _{ph} |
| A | تيار المار في ديود | I _d |
| A | تيار المار في المقاومة التفرعية | I _{sh} |
| Ω | مقاومة المواد التسلسلية | R _S |
| Ω | مقاومة تفرعية | R _{SH} |
| A | تيار الدارة القصيرة | I _{SC} |
| V | جهد الدارة المفتوحة | V _{OC} |
| V | التوتر الحراري | V _{th} |
| V | التوتر الكهرو ضوئي | V _{PV} |
| A | تيار الكهرو ضوئي | I _{ph} |
| A | التيار الأعظمي | I _m |
| V | الجهد الأعظمي | V _m |
| W | الإستطاعة الأعظمية | P _{max} |
| % | معامل الشكل | FF |
| w/m ² | الإشعاع الشمسي | H |
| W | الإستطاعة الواردة | Pin |
| % | الكفاءة | η |
| Ev | الفاصل الطاقي | Eg |
| وحدته | مدلوله | الرمز |

| | | |
|----|-------------|-------|
| Hz | تردد العتبة | v_0 |
| A | تيار مستمر | DC |
| A | تيار متناوب | AC |

مقدمة عامة:

إن استهلاك الطاقة في العالم وفي الوقت الحالي في تزايد مستمر، وذلك بسبب تزايد عدد السكان وحدث ثورة في التنمية الصناعية. حالياً، يعتمد إنتاج الطاقة وبشكل أساسي على الوقود الأحفوري (النفط والفحم والغاز الطبيعي....) وهو غير قابل للتجديد، كما أنه مورد محدود التوفر، أيضاً استهلاكه يعتبر مصدر العديد من المشاكل البيئية مثل التلوث وحدث ظاهرة الاحتباس الحراري . لذلك من المهم جداً تطوير مصادر بديلة جديدة للطاقة يمكنها تلبية الطلب المتزايد، ضمان التنمية المستدامة والحفاظ على البيئة. الطاقة الشمسية هي من أهم المصادر المرشحة لكي تكون مصدر طاقة المستقبل. لأنها مصدر طاقة لا ينضب ونظيف. كما تعتبر مصدر طاقة متزايد يمكن أن يغطي احتياجات الكهرباء العالمية. في الواقع، يمكن تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء من خلال المركبات التي تسمى الخلايا الشمسية. الخلايا الشمسية الكهروضوئية (PV) تملك العديد من المزايا، إنها أنيقة المظهر، غير ملوثة للبيئة، صامته لا ضجيج فيها. توليد الطاقة الكهروضوئية في تزايد مستمر منذ العقود الماضية والى يومنا هذا. مع مراعاة خفض تكاليف التصنيع والزيادة في كفاءة التحويل. من أجل هذا يبذل الباحثون جهوداً كبيرة من أجل التمكن في مجال تكنولوجيا ترسب الطبقات الرقيقة. مواد أنصاف النواقل ذات الطبقات الرقيقة الداخلة في تصنيع الخلايا الشمسية هي محل بحث من طرف العديد من العلماء. حتى الآن، يعتبر السليكون هو أكثر المواد شيوعاً للإستخدام في تصنيع الخلايا الكهروضوئية، أكثر من 80 % من الإنتاج العالمي [1].

المحاكاة العددية هي أداة قوية حيث يمكن تغيير العديد من الثوابت لنموذجه الظواهر الملاحظة تجريبياً كما يمكن لها أيضاً أن تقدم التفسير الفيزيائي للظواهر. في عملنا هذا استخدمنا المحاكى Atlas لبرنامج Silvaco-Tcad في تصميم ودراسة الخلية الشمسية نتيج لنا الأداة Atlas تصميم وكذا التنبؤ بأداء مركبات أنصاف النواقل والخلايا الشمسية

الفصل الأول: عموميات حول الخلايا الشمسية

- ❖ الطاقة الشمسية والإشعاع الشمسي
- ❖ الألواح الشمسية
- ❖ أنواع الخلايا الشمسية وخصائصها المميزة
- ❖ دالة الشغل وطاقة الفوتونات

مقدمة

تعتبر الطاقة الشمسية أحد صور الطاقة المتجددة والتي أصبحت تشكل جزء كبيراً من إهتمام جميع دول العالم كونها طاقة نظيفة لا تحدث أي تلوث للبيئة. وفكرة استخدام الطاقة الشمسية في التسخين أو تحريك آليات ليست جديدة على الإطلاق، ويحدثنا التاريخ عن أرخميدس الذي عاش في القرن الثالث قبل الميلاد أنه قد استخدم الأشعة الشمسية في إحراق سفن العدو في إحدى المعارك الحربية. ومن طرق إستغلال هذه الطاقة، استخدام الألواح الشمسية التي تعمل على تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء، كما شهدت إستعمالات الطاقة الكهروضوئية نمو ملحوظاً للغاية في السنوات الأخيرة نظراً لإرتفاع تكاليف الوقود الأحفوري، مما جعل العائدات من التركيب الكهروضوئي كبيراً. سنتطرق في هذا الفصل إلى مفهوم وأنواع وإستعمالات الطاقة الشمسية وسوف نتعرف على الطاقة الكهروضوئية. والألواح الشمسية الفوتوفولطائية.

1- الشمس:

الشمس هي نجم كبير الحجم نسبياً مكون من غاز ملتهب تبلغ درجة حرارة سطحه حوالي

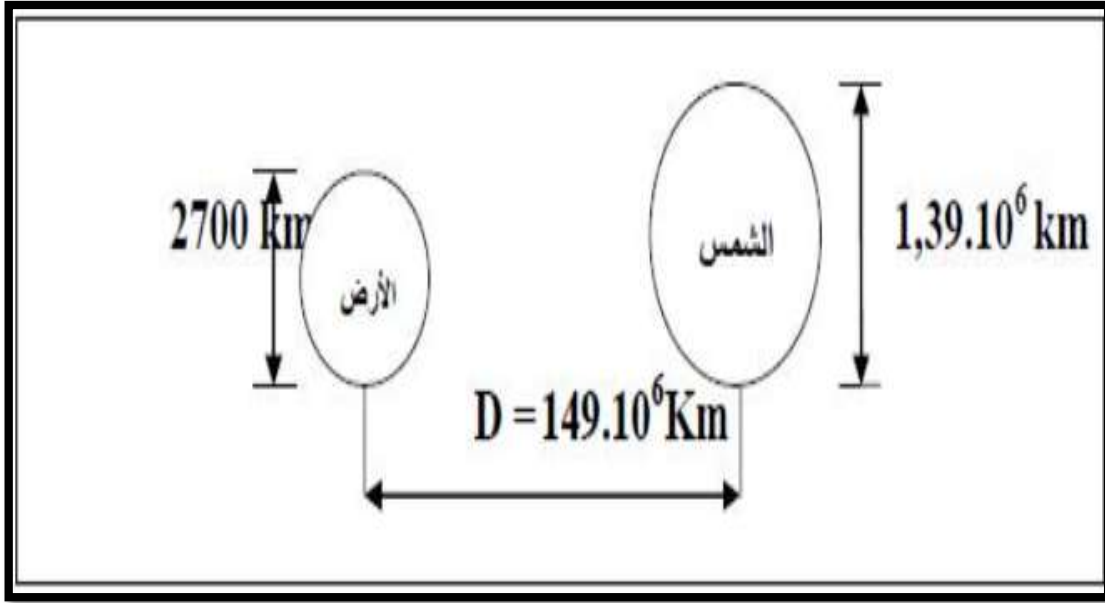
5800k

ويبلغ قطرها 13.9×10^6 km، وتزداد كتلتها عن 1998×10^{24} tn إي ما يعادل 333×10^3 مرة

كتلة الأرض البالغة 6×10^{21} tn، وتبعد عن الشمس مسافة $1.65 \pm 149 \times 10^6$ km كما هو

موضح في الشكل (1-1)، وتصدر في الثانية طاقة قدرها 3.9×10^{23} kw وتدور حول محورها

دورة واحدة خلال 4 أسابيع تقريباً [2]



الشكل (1-1) أبعاد الشمس و الأرض و المسافة بينهما

2- 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:

✓ الإشعاع المباشر (S): هو الإشعاع الذي يعبر الغلاف الجوي دون الانعكاس ولا تشتت، إي

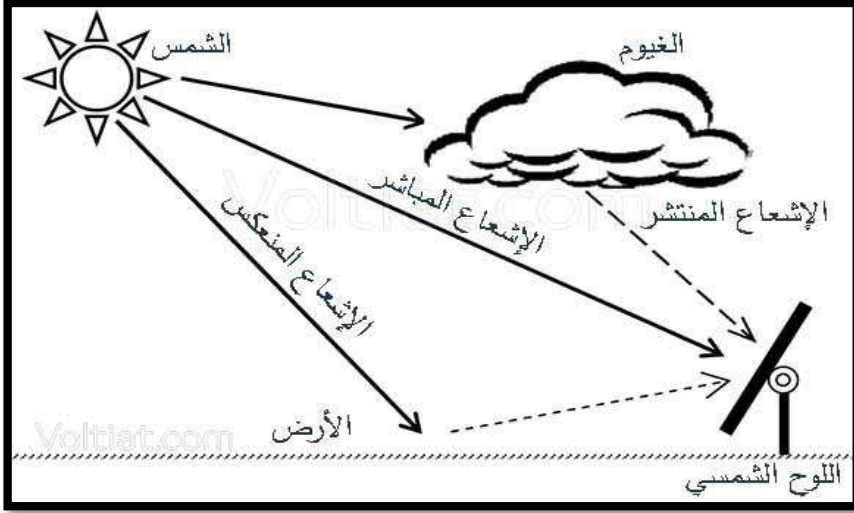
عبارة عن حزمة ضوئية مباشرة من الشمس وتبقى على حالها دون ضياع

✓ 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

$$[2]G=D+S+R$$

الأشعة المباشر و المنتشر والمنعكس



الشكل (1-2) يوضح أنواع الإشعاع الشمسي

3- الإشعاع الشمسي:

3-1 تعريف:

ترسل الشمس أشعتها وهي موجات كهرو ميغناطيسية مستعرضة ذات اطوال موجية (λ) تتكون من جسيمات هي الفوتونات التي تصل الى الأرض بسرعة الضوء. لكل فوتون كمية من الطاقة تتناسب عكسيا مع الطول الموجي و حسب نظرية بلانك كما توضحه المعادلة (1-1) [2]

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

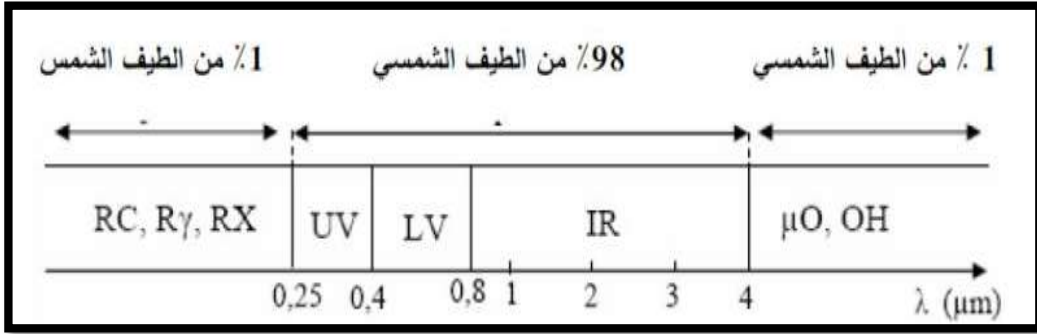
حيث:

- ν : تردد الموجة (Hz)
- λ : طول الموجة (μm)
- C : سرعة الضوء في الفراغ (3.10^8 m/s)
- h : ثابت بلانك ($6.62 \times 10^{-34} \text{ j*s}$)

3-2- طيف الإشعاع الشمسي:

الإشعاع الشمسي هو أمواج كهرومغناطيسية، تتوزع طاقتها على طيف الإشعاع وتكون % 98 منها ضمن أطوال الموجات $\lambda \in [0.25\mu\text{m} - 4\mu\text{m}]$ ، 1% تحت هذا، و % 1 فوقه، وكل فوتون يمتلك طاقة تعطى وفق العلاقة التالية: [2]

$$E_{\text{photon}}(\text{ev}) = \frac{1.24}{\lambda(\mu\text{m})} \quad (2-1)$$



الشكل (3-1) توزيع الإشعاع الشمسي

✓ $\lambda \in [0.25\mu\text{m}-0.4\mu\text{m}]$ مجال فوق البنفسجي (UV) يمثل % 7 من الطاقة الكلية المنبعثة

من الشمس. تمتلك الفوتونات في المجال طاقة كبيرة تتراوح بين $E \in [4.96 \text{ eV} - 3.10 \text{ eV}]$

✓ $\lambda \in [0.4\mu\text{m}-0.8\mu\text{m}]$ المجال المرئي (LV) يمثل % 47 من الطاقة الكلية المنبعثة من

الشمس. تمتلك الفوتونات في المجال طاقة أقل تتراوح بين $E \in [3.10\text{eV} - 1.55\text{eV}]$

✓ $\lambda \in [0.8\mu\text{m}-4\mu\text{m}]$ المجال تحت الأحمر (IR) يمثل % 45.5 من الطاقة الكلية المنبعثة

من الشمس. تتناقص طاقة الفوتونات في هذا المجال فتكون بين $E \in [1.55 \text{ eV} - 0.31\text{eV}]$

✓ RX الأشعة السينية R γ الأشعة غاما. RC. الأشعة الكونية. μO أشعة لميكروويف OH

أشعة الراديو.

4-الثابت الشمسي:

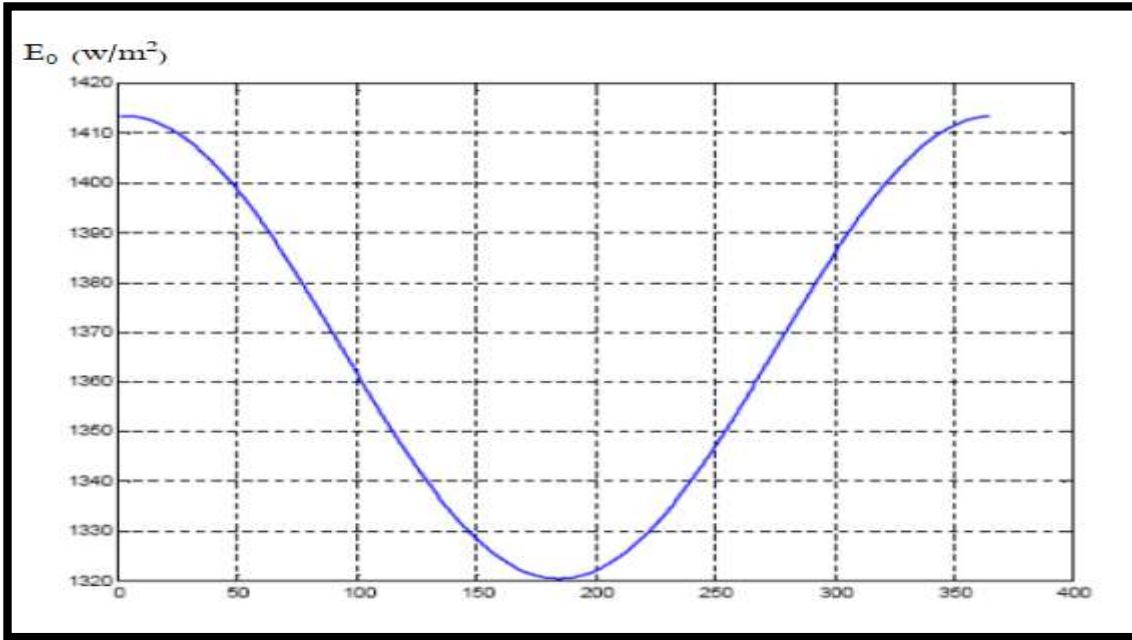
هي كمية التدفق الإجمالي للطاقة الكهرومغناطيسية الآتية من الشمس عموديا على السطح المستوي خارج الغلاف الجوي الأرضي في وحدة الزمن و وحدة المساحة، ونتيجة الحساب والقياس فإن قيمة هذا الثابت الشمسي تقدر ب $I_0=1367 \text{ W/m}^2$ [2].

خارج الغلاف الجوي بالإرتياب عن قيمة الثابت الشمسي I_0 ب $(\pm 3.3\%)$ حسب إقتراب أو إبتعاد الشمس عن الأرض وذلك حسب اليوم من السنة و تعطى علاقة التصحيح للثابت الشمسي خلال أيام السنة بالعلاقة التالية: [1]

$$I = I_0 \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360}{365} N_j \right) \right] \quad (3-1)$$

حيث N_j يمثل رقم اليوم من السنة الشمسية ($N_j = 1, 2 \dots \dots 365$).

والشكل (4-1) عبارة على الرسم البياني لدالة الثابت الشمسي، حيث نلاحظ أن شدة الإشعاع الشمسي تكون أعظمية عند الأيام 1 و 364 في الشتاء.



الشكل (4-1):منحنى الثابت الشمسي خلال السنة

5- تحويل الطاقة الشمسية:

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى نوعين من الطاقة وهما:

5-1 طاقة كهربائية:

نحصل على هذه الطاقة من خلال آلية التحويل الكهروضوئي والتي يقصد بها تحويل

الإشعاع الشمسي مباشرة إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية.

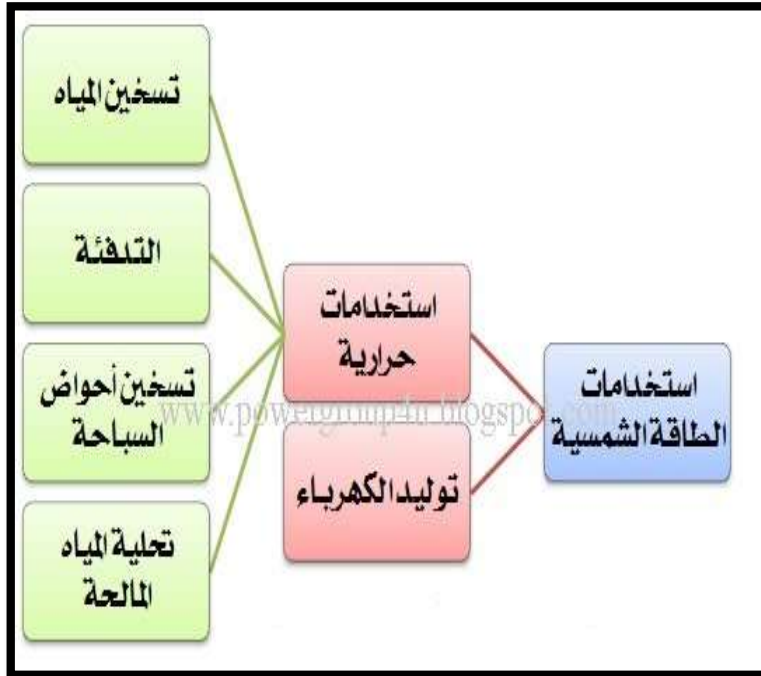
5-2 طاقة حرارية:

يتم الحصول عليها بواسطة آلية التحويل الحراري والذي يعتمد على تحويل الإشعاع الشمسي

إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات الشمسية، فإذا تعرض جسم داكن اللون ومعزول إلى

الإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع وترتفع درجة حرارته ويستفاد من هذه الحرارة في التدفئة

والتبريد وتسخين المياه وتوليد الكهرباء.



الشكل (5-1): مخطط يوضح استخدامات الطاقة الشمسية.

6- النواقل وأنصاف النواقل والعوازل:

يمكن تصنيف المواد الصلبة المتواجدة في الطبيعة انطلاقاً من قابليتها للنقل الكهربائي إلى

ثلاث مجموعات والتي تتمثل في:

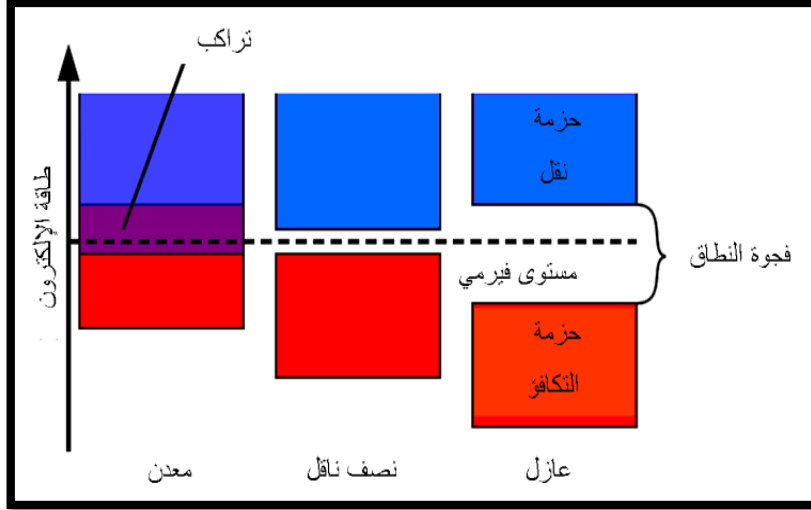
مواد ناقلة، ومواد عازلة، ومواد نصف ناقلة

بالاعتماد على أساس تركيب الحزم للمادة وكذا على مقدار طاقة فجوة الممنوعة (E_g) و التي تقصل بين حزمة النقل (BC) وحزمة التكافؤ (B_v) و بالإضافة إلى الخواص الإلكترونية فيزيائية تم تصنيف هذه المواد. في المواد العازلة و عند درجة 0 كلفن تكون حزمة النقل فارغة تماماً من الإلكترونات بينما حزمة التكافؤ تكون ممتلئة، وحتى عند رفع درجة حرارتها تبقى هذه الخاصية في العوازل، وذلك لأن الطاقة الحرارية غير كافية لنقل إلكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة النقل وجعله حراً، وهذا راجع إلى كبر الفاصل الطاقي (E_g)، فناقلية العوازل ضعيفة جداً.

- أما النواقل فتتميز بتراكب حزمة النقل وحزمة التكافؤ فوق بعضها البعض، لذا فليس هناك فاصل طاقي وحزمة النقل تكون مشغولة جزئياً حتى عند درجات الحرارة المنخفضة، مما يؤدي إلى ناقلية كهربائية عالية جداً.

- أما في ما يخص أنصاف النواقل فلها ناقلية تقع بين هاتين المجموعتين بالإضافة إلى أن الفاصل الطاقي (E_g) لديها صغير بالمقارنة مع العوازل حيث يمكن للإثارة الحرارية أو الضوئية

أن تجعل الإلكترونات تنتقل من حزمة النقل (BC) إلى حزمة التكافؤ (B_v) [11]



الشكل (6-1) يوضح الفجوة الطاقية الممنوعة E_g

7-التطعيم "Dopage":

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). [2].

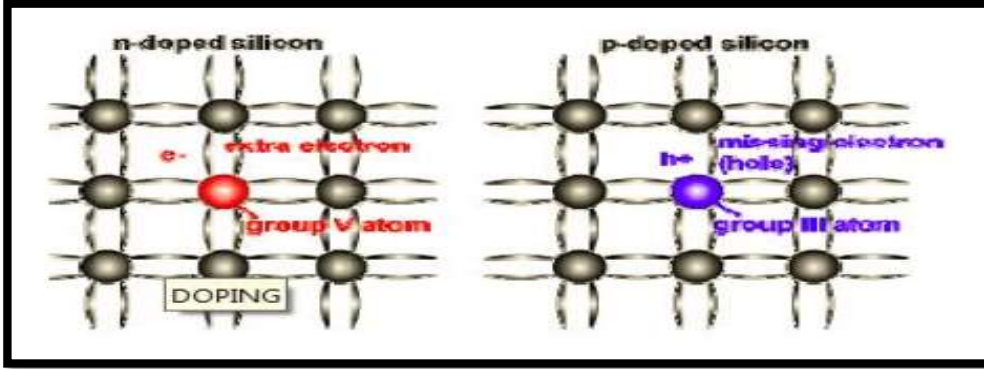
تصنف أشباه الموصلات المطعمة من حيث المواد المطعمة بها إلى أشباه موصلات من النوع السالب (n-Type) و أشباه الموصلات من النوع الموجب (p-Type).

توليد الشحنة الموجبة في الخلية الكهروضوئية تدخل ذرات البور (B) والموجود في العمود الثالث التي تمتلك ثلاث إلكترونات تكافؤية، فترتبط هذه الذرات مع ذرات السليكون ويتشكل ثقب إيجابي الشحنة، تشكل مادة السليكون مع شوائب البور ناقلا إيجابيا أو وصلة من نوع (p).

لتوليد الشحنة السالبة في الخلية الكهروضوئية تدخل ذرات الفوسفور (P) التي تمتلك خمس إلكترونات تكافؤية في تركيب السليكون الصافي، فترتبط هذه الذرات مع ذرات السليكون ويتشكل

ثقب سلبي الشحنة تسمى مادة السليكون مع شوائب الفوسفور ناقلا سلبي أو وصلة من نوع (n)

[2]



الشكل (7-1) تشكل الوصلة (pn)

8-ثنائي الوصلة n-p :

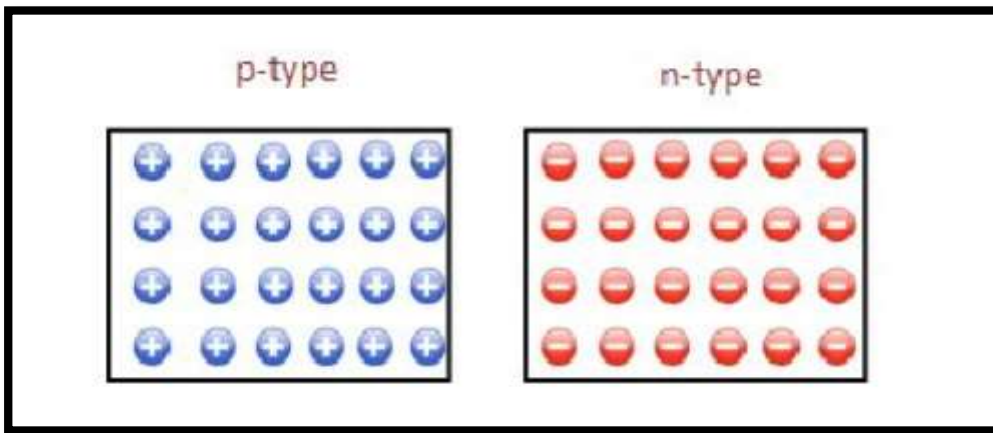
تتكون الوصلة الثنائية (n-p) من بلورتين متلاصقتين من أشباه الموصلات أحدهما من نوع

(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

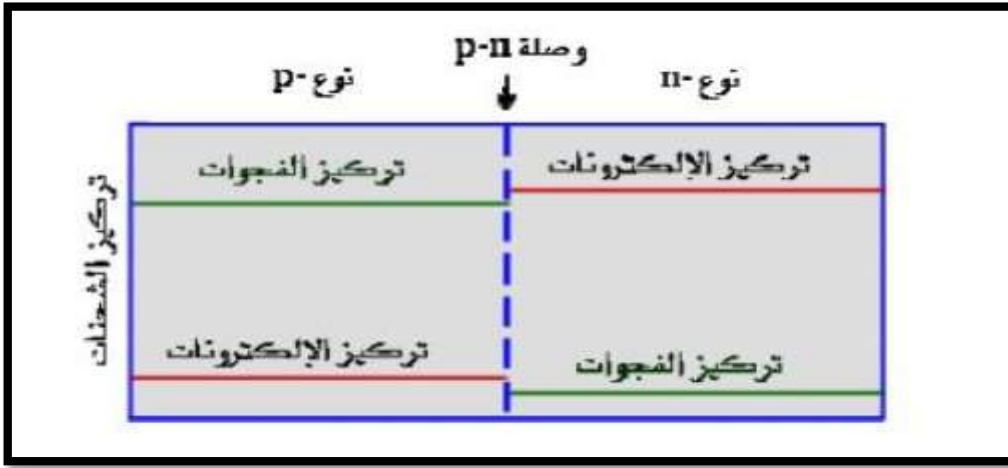
القطب (صمام ثنائي أو ديود) في الدوائر الالكترونية كالاتي: [2]



الشكل (8-1) ثنائي الوصلة n-p

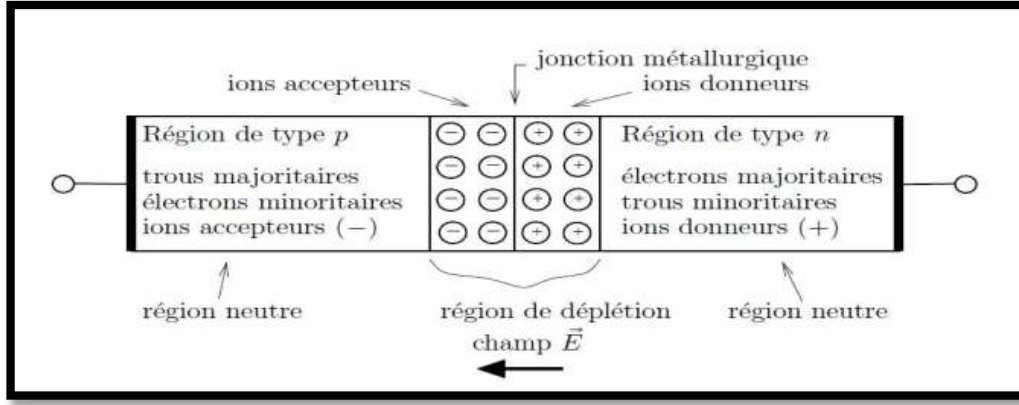
9-ثنائي الوصلة عند الاستقرار:

عند تشكيل ثنائي الوصلة n-p يكون تركيز كل من الإلكترونات والفجوات على جانبي الوصلة كما في الشكل (9-1) ونتيجة هذا الاختلاف في التركيز على جانبي الوصلة فإن الشحنات سوف تنتشر من الوسط الأكثر تركيزاً إلى الوسط الأقل تركيزاً. حيث تنتشر الإلكترونات من المنطقة n إلى المنطقة p، كما تنتشر الفجوات من المنطقة p إلى المنطقة n. [2]



الشكل (9-1): ثنائي الوصلة عند الاستقرار

ونتيجة لعمليتين الانتشار والإتحاد 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 ذرتها على شكل أيون سالب. وهكذا تتكون شحنة فراغية على جانبي الوصلة ويطلق على هذه المنطقة (space-charge) التي تكونت فيها الشحنة الفراغية منطقة الإستنزاف أو منطقة الإنتقال (transition region) الشكل (10-1) يبين منطقة الانتقال: [2]



الشكل (10-1) منطقة الشحنة الفراغية في الوصلة N-P

10- طاقة الفوتونات ودالة الشغل:

10-1- طاقة الفوتون :

هي الطاقة التي يحملها فوتون واحد، يتناسب مقدار هذه الطاقة طردياً مع التردد الكهرو

مغناطيسي للفوتون وعكسياً مع الطول الموجي

فكلما ازداد طول الموجي للفوتون تقل طاقته. يمكن التعبير عن طاقة الفوتون باستخدام أي وحدة

من وحدات الطاقة كالجول وإلكترون فولت ... الخ. [13]

10-2- دالة الشغل:

هي أقل طاقة لابد للإلكترون من الحصول عليها لكي يتحرر من سطح مادة معينة.

في التأثير الكهروضوئي تتم إثارة الإلكترون عندما يمتص فوتوناً ضوئياً، فإذا كانت طاقة الفوتون

أكبر من دالة الشغل يتحرر الإلكترون ويغادر سطح المادة وطاقة الزائدة عن طاقة تحرر

الإلكترون تظهر الإلكترون على شكل طاقة حركية. [12]

$$E = hv = h \frac{c}{\lambda} \quad (4-1)$$

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

λ : الطول الموجي

c : سرعة الضوء ($3 \cdot 10^8$ m/s)

الجدول (1-1) يوضح دالة الشغل لكل عنصر

| العنصر Element | دالة الشغل w_0 [eV] |
|----------------|-----------------------|
| النحاس | 4.7 |
| الذهب | 5.1 |
| الحديد | 4.5 |
| النيكل | 5.00 |
| الفضة | 4.26 – 4.73 |
| الزنك | 4.3 |
| المغنيزيوم | 3.68 |

تتراوح قيم جهد الإيقاف travail de sortie بين 1V-6V

- طاقة الضوء الساقط أقل من دالة الشغل المعدن الإلكترون e لن ينبعث ولن يتحرر إذا

كان

$$E < w_0 \quad \checkmark$$

$$v < v_0 \quad \checkmark$$

$$\lambda > \lambda_0 \quad \checkmark$$

- طاقة الضوء الساقط تساوي دالة الشغل المعدن الإلكترون ينبعث فقط دون إكساب طاقة

حركية إذا كان

$$E = w_0 \quad \checkmark$$

$$v = v_0 \quad \checkmark$$

$$\lambda = \lambda_0 \quad \checkmark$$

- طاقة الضوء الساقط أكبر من دالة الشغل المعدن الإلكتروني ينبعث ويتحرك إي يكتسب

طاقة حركية إذا كان

$$E > W_0 \quad \checkmark$$

$$v > v_0 \quad \checkmark$$

$$\lambda < \lambda_0 \quad \checkmark$$

حيث :

v_0 : تردد العتبة هو أقل تردد (تواتر) يلزم للإنبعاث الكهروضوئي.

λ_0 : هو أكبر طول موجي يلزم للإنبعاث الكهروضوئي.

E_c : الطاقة الحركية للإلكترون

$$E = w_0 + E_c$$

$$hv = hv_0 + \frac{1}{2}(m_e v^2) \quad (5-1)$$

$$:m_e = 9.1 * 10^{-31} \text{Kg}$$

V_0 : يسمى جهد الإيقاف المعدن

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = eV_0$$

$$h \frac{e}{\lambda} = h \frac{c}{\lambda_0} + eV_0 \quad (6-1)$$

العلاقة بين E_c و V_0

$$E_c = E - W_0 = hv - W_0 \quad (7-1)$$

العلاقة بين v و V_0

$$E_c = eV_0 = hv - hv_0 \quad (8-1)$$

$$(v-v_0) = \frac{e}{h}V_0 \Rightarrow V_0 = \frac{c \cdot h}{e} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right) = \frac{h}{e}(v-v_0) \quad (9-1)$$

$$V_0 = 7,27 \times 10^{-4} (v-v_0) \Rightarrow V_0 = 0,218 \times 10^6 \left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right] \quad (10-1)$$

-ألوان الطيف و الأطوال الموجية:

جدول (2-1) يوضح الطوال الموجي والتردد والطاقة لألوان الطيف

| اللون | الطول الموجي | التردد | الطاقة |
|-----------|--------------|------------|---------------|
| البنفسجي | 380-450 nm | 666-789THz | 27eV، 76-3،2 |
| الأزرق | 450-495 nm | 606-666THz | 76 eV، 51-2،2 |
| الأخضر | 495-570 nm | 526-606THz | 51eV، 18-2،2 |
| الأصفر | 570-590 nm | 508-526THz | 18eV، 10-2،2 |
| البرتقالي | 590-620 nm | 484-508THz | 10eV، 00-2،2 |
| الأحمر | 620-750 nm | 400-484THz | 00eV، 65-2،1 |

11-الخلايا الشمسية:

1-11: تعريف الخلايا الشمسية :

تعرف بالخلايا الضوئية أو الكهروضوئية (الفولتضوئية). إن أصل مصطلح الضوئية

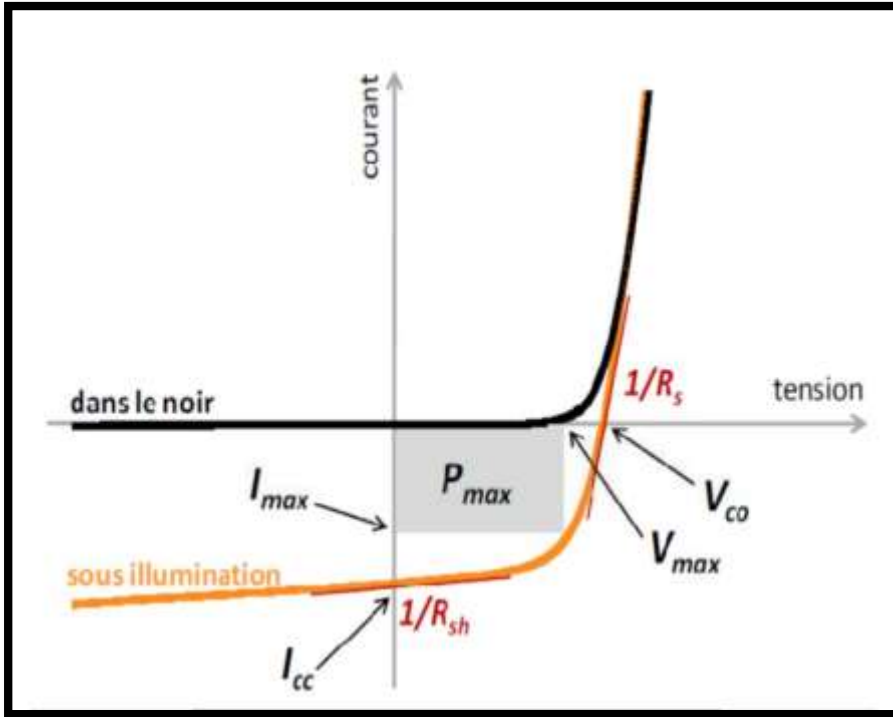
(photovoltaic) يوناني. وقد أستعمل عام 1849 و يعني الضوء وهو مشتق من إسم فيزيائي

إيطالي، فولتا [1]

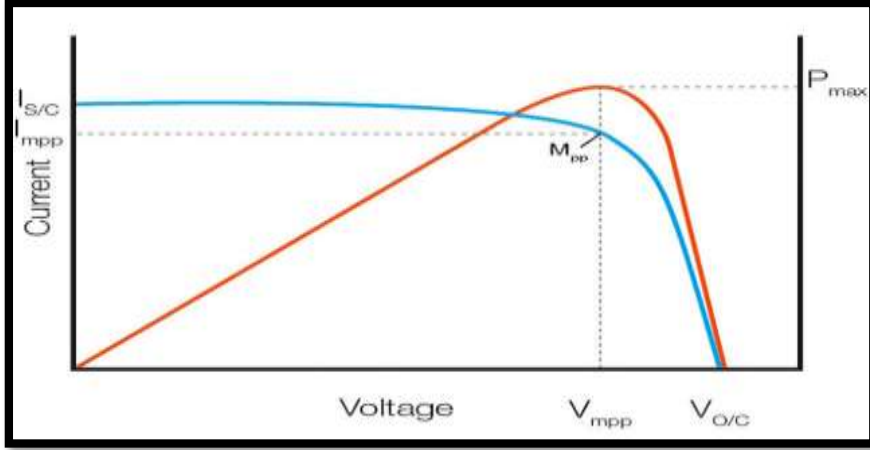
الخلية الشمسية هي أداة تتكون منها تحرير إلكترونات عند تسليط حزمة من إشعاع (فوتونات تمتلك طاقة كافية). يمكن أن تكون الخلية الشمسية عبارة عن وصلة n-p، ويتم تحرير شحنات مختلفة مجموع أزواج من (الإلكترون - فجوة) ثم تتطرق حاملات الشحنة بعد ذلك متجهة إلى وصلة الثنائي و تنتقل بين نطاقي التكافؤ و التوصيل خلال فجوة الطاقة، ولتتجمع عند سطح الخلية من الأمام والخلف فيحدث تيارا كهربائيا مستمرا عندما تتصل الخلية بجهد كهربائي. ويمكن كذلك أن تكون الخلية الشمسية مكونة من مادتين مختلفتين حيث يمكن إنتزاع الإلكترونات من المادة الأولى بالفعل الكهربائي وانتقالها إلى المادة الثانية مشكلة فرق في الكمون [1]

11-2- الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية:

11-2-1 المنحنى المميز تيار جهد (IV)



الشكل (11-1) المنحنى المميز تيار- جهد للخلية الشمسية في الظلام والضوء



الشكل (12-1) منحنى المميز للخصائص الكهربائية.

- يمثل المنحنى الأزرق المجموعات المحتملة من التيار والجهد الخارجة من الخلية الشمسية، حيث أنه في لحظة تنتج الخلية الشمسية قيمة محددة من التيار والجهد تقع على منحنى التيار- جهد.
- يمثل المنحنى الأحمر منحنى الاستطاعة للخلية الشمسية، حيث يوضح هذا المنحنى الاستطاعة المنتجة عند أي نقطة تشغيل على المنحنى تيار- جهد، وهي ببساطة حصل ضرب الفولطية والتيار في هذه النقطة.

11-2-2- جهد دائرة مفتوحة V_{oc} :

هو الحد الأقصى للجهد الذي تبلغه الخلية وهو الجهد المقاس عند طرفي الخلية الشمسية عندما لا يمر في الدارة أي تيار وتكون المقاومة كبير بشكل لا نهائي، وتكون الاستطاعة المنتجة صفراً لأن قيمة التيار في هذه الحالة صفر. [1]

$$V_{oc} = V_{th} \cdot \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (11-1)$$

$$V_{th} = \frac{n \cdot k \cdot T_c}{q}$$

V_{th} : الجهد الترموديناميكي

11-2-3- تيار قصر الدارة I_{sc} :

وهو أقصى تيار تنتجه الخلية يتم قياسه عندما لا يكون هناك مقاومة في الدارة، أي يتم الحصول عليه عند قصر الدارة، وتكون الاستطاعة المنتجة معدومة لأن قيمة الجهد في هذه الحالة صفر [6]

$$I_{sc} = \frac{I_{ph}}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}}} \quad (12-1)$$

11-2-4- الإستطاعة الأعظمية P_{max} :

تعرف الإستطاعة (القدرة الكهربائية) بأنها الناتج الأعلى من حاصل الضرب بين الجهد (V) و التيار (I) عند نقطة التشغيل تعطى بالعلاقة التالية: [1]

$$P_{max} = I_m \times V_m \quad (13-1)$$

بالنسبة لخلية شمسية مثالية فإن الاستطاعة تعطى بالعلاقة التالية :

$$P_{max\ ideale} = I_{sc} \times V_{oc} \quad (14-1)$$

11-2-5- معامل الشكل FF:

هو معامل يعبر عن جودة الخلية الشمسية وهو النسبة بين الاستطاعة القصوى و

المنتجة و يعطى بالعلاقة التالية [1]

$$FF = \frac{P_{max}}{P_{max\ ideale}} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{co}} \quad (15-1)$$

11-2-6- كفاءة الخلية الشمسية:

تعرف على أنها النسبة بين الإستطاعة القصوى التي تنتجها الخلية و قوة الإشعاع الشمسي

الذي يصل إلى الخلية، ويتم قياس هذه الكفاءة في الشروط النظامية التالية [1]

✓ شدة الإشعاع الشمسي $H=1000(w/m^2)$

✓ حرارة الخلية $T=25^\circ C$

✓ كتلة الهواء $A_m= 1.5 kg$

حيث أن S هو سطح الخلية ب (m^2) .

H_{ins} شدة الإشعاع (w/m^2)

P_{in} : الاستطاعة الواردة (w)

و بالتالي فإن مردود الطاقة يكتب بالعلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \quad (16-1)$$

لدينا:

$$P_{max} = FF \times I_{sc} \times V_c \quad P_{in} = H_{ins} \times S$$

تصبح العلاقة:

$$\eta = \frac{FF \times I_{sc} \times V_c}{H_{ins} \times S} \quad (18-1)$$

12-الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية:

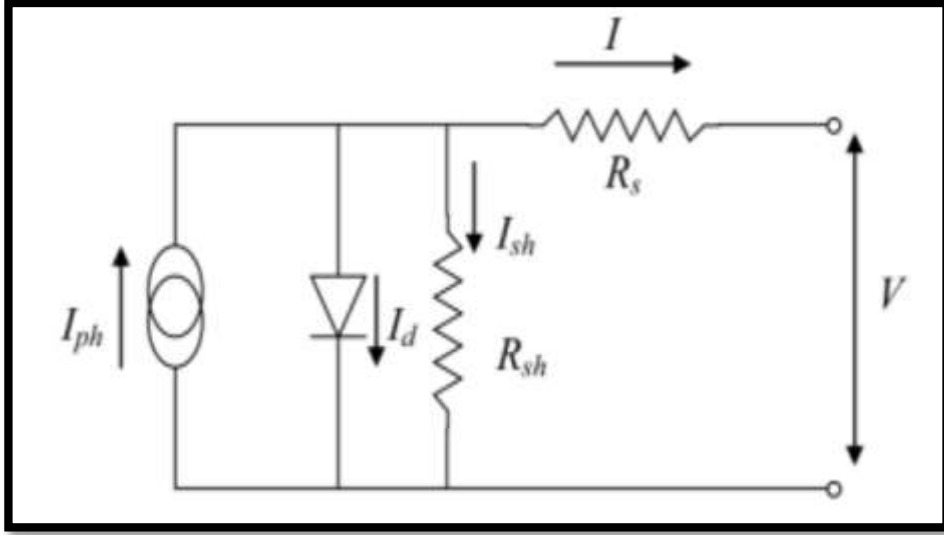
1-12 محاكاة خلية شمسية بدارة تحوي ديود واحد أوصمام ثنائي:

إن عمل الخلية الشمسية يوافق ويكافئ دارة كهربائية بديود واحد كما يبين الشكل (1-13)

تواجه حاملات الشحنة في مواد الخلية الشمسية وفي الأسلاك الناقلة مقاومة كهربائية تمثل

بالمقاومة التسلسلية وتمثل العيوب الموجودة في المواد المكونة للخلية الشمسية بالمقاومة التفرعية.

عمليا يكون لهاتين المقاومتين قيما معينة تتعلق بالمواد المستعملة و بطريقة التصنيع [1]



الشكل (13-1) : الدارة المكافئة للخلاية الشمسية.

نعتبر عن التيار المار داخل الخلية بالعلاقة التالية:

$$I = I_{PH} - I_d - I_{sh} \quad (19-1)$$

حيث:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\left(\frac{q(V + I \cdot R_s)}{akT} \right) - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \right] \quad (20-1)$$

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

R_S : مقاومة المواد وأسلاك التوصيل التسلسلية

I_{ph} : التيار الضوئي

I : التيار المار في المقاومة التسلسلية

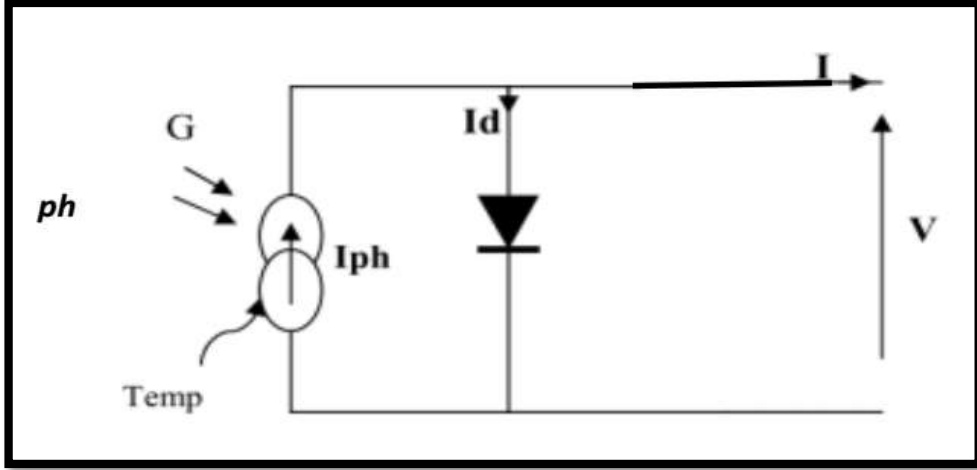
I_d : التيار المار في الديود

I_{sh} : التيار المار في المقاومة التفرعية

2-12 الدارة المثالية المكافئة للخلية الشمسية:

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

موضح في الشكل (14-1)



الشكل (14-1) الدارة المثالية المكافئة للخلية الشمسية

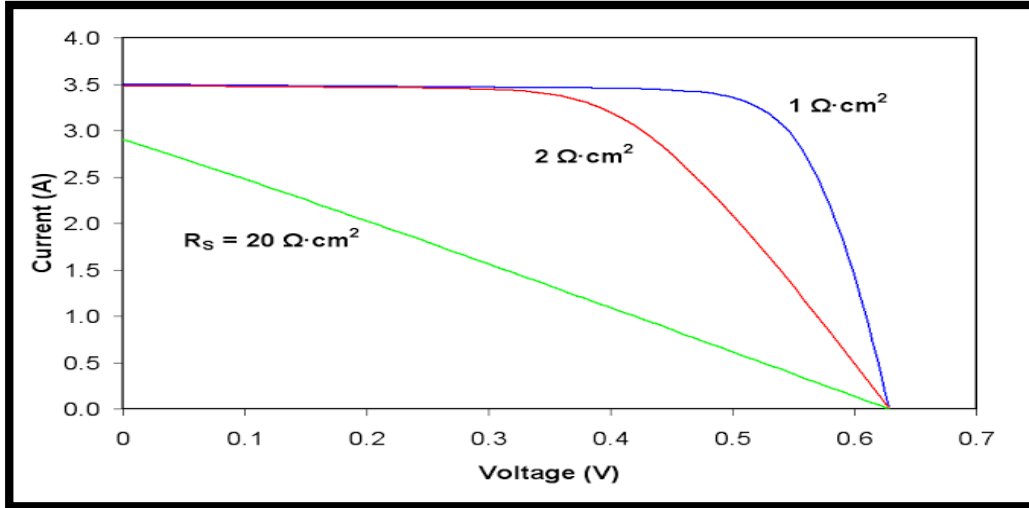
نعتبر عن التيار المار داخل الخلية بالعلاقة التالية:

$$I = I_{ph} - I_d \quad (21-1)$$

يوضح الشكل (15-1) أثر المقاومة التسلسلية على المنحنى المميز للخلية الشمسية. نلاحظ أن

المقاومة R_s ليس لها تأثير على كمنون الدارة المفتوحة V_{oc} ، لكنها تقلل من تيار

الدارة المقصور I_{sc} [1]

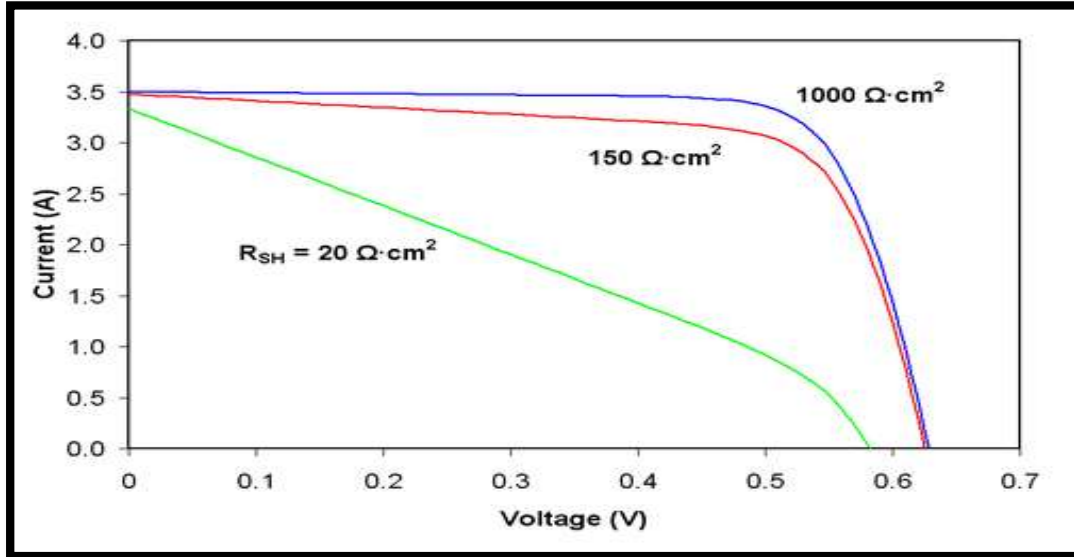


الشكل (15-1) أثر المقاومة التسلسلية R_s على المنحنى المميز للخلية الشمسية.

ويوضح الشكل (16-1) أثر المقاومة التفرعية على المنحنى المميز للخلية الشمسية حيث نلاحظ

أن المقاومة التفرعية R_{sh} ليس لها أي أثر على تيار الدارة المقصورة I_{sc} لكنها تقلل من كمون

الدارة المفتوحة V_{oc} [1]



الشكل: (16-1) أثر المقاومة التفرعية R_{sh} على المنحنى المميز للخلية الشمسية

13-أنواع الخلايا الشمسية: تم تصنيع خلايا شمسية من مواد مختلفة إلا أن أغلب هذه

المواد نادرة الوجود بالطبيعة أو لها خواص سامة ملوثة للبيئة أو معقدة التصنيع و باهضة

التكاليف وبعضها لا يزال تحت الدراسة والبحث وعليه فقد تركز الإهتمام على تصنيع الخلايا الشمسية السليكونية وذلك لتوفير عنصر السليكون في الطبيعة علاوة على أن العلماء والباحثين تمكنوا من دراسة هذا العنصر دراسة مستفيضة وتعرفوا على خواصه المختلفة وملاءمته لصناعة الخلايا الشمسية المتبلورة والغير متبلورة.

1-13 الخلايا الشمسية المتبلورة:

هناك نوعين من السليكون المتبلور بالاعتماد على درجة النقاوة و إتجاه التبلور وهما أحادي التبلور mono crystalline و متعدد التبلور polycrystalline، الشكل الذي يغلب عليها هو الشكل المستطيل أو المربع، تكون مساحتها عادة ما بين $0.3m^2$ إلى $1.5m^2$ وتنقسم إلى:

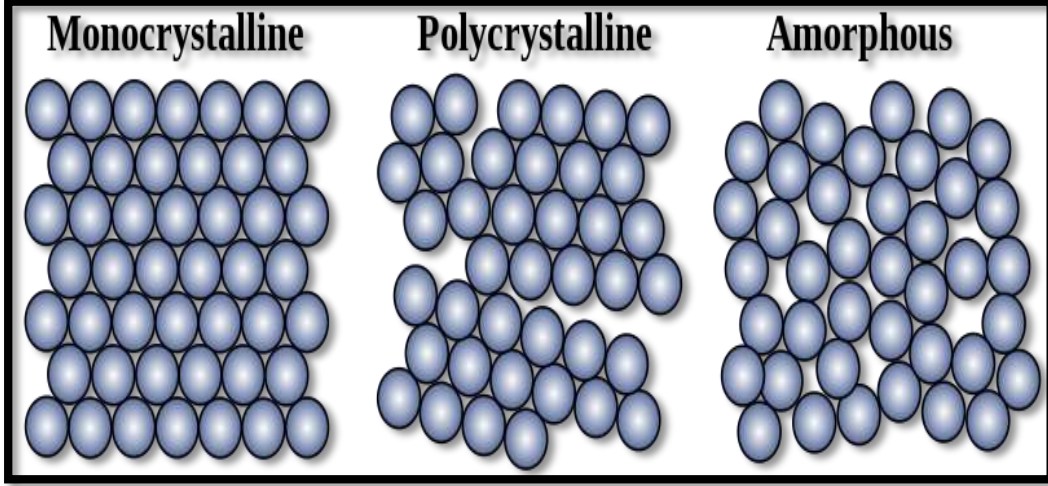
1-1-13 أحادي التبلور MonoCrystalline:

تكون بلورات السليكون ذات إتجاه واحد، و بنقاوة أعلى و هي أعلى ثمنا، يعتبر هذا النوع من أكثر البنيات البلورية إنتظاما. تكون بلون واحد و تتدرج من الأزرق إلى الأسود وبالإمكان صنع الخلايا بألوان أخرى و لكن ستكون كلفتها أعلى حيث ستقلل من كفاءة الخلية، فالألوان الأخرى إذا ما تم إستخدامها ستعكس جزء من طاقة الإشعاع الشمسي التي ستصلها و بالتالي سيحتاج المصمم إلى عدد أكثر من الخلايا الشمسية و تتراوح كفاءة الخلية الشمسية أحادية التبلور من (15% إلى 20%)

2-1-13 متعدد التبلور Poly Crystalline:

تكون بلورات السليكون بتدرجات مختلفة وكذلك كقطع منكسرة غير منتظمة تعطي عدة تدرجات من اللون الواحد عادة ما تكون بتدرجات مختلفة للون الأزرق إلا أنها كسابقتها من الممكن

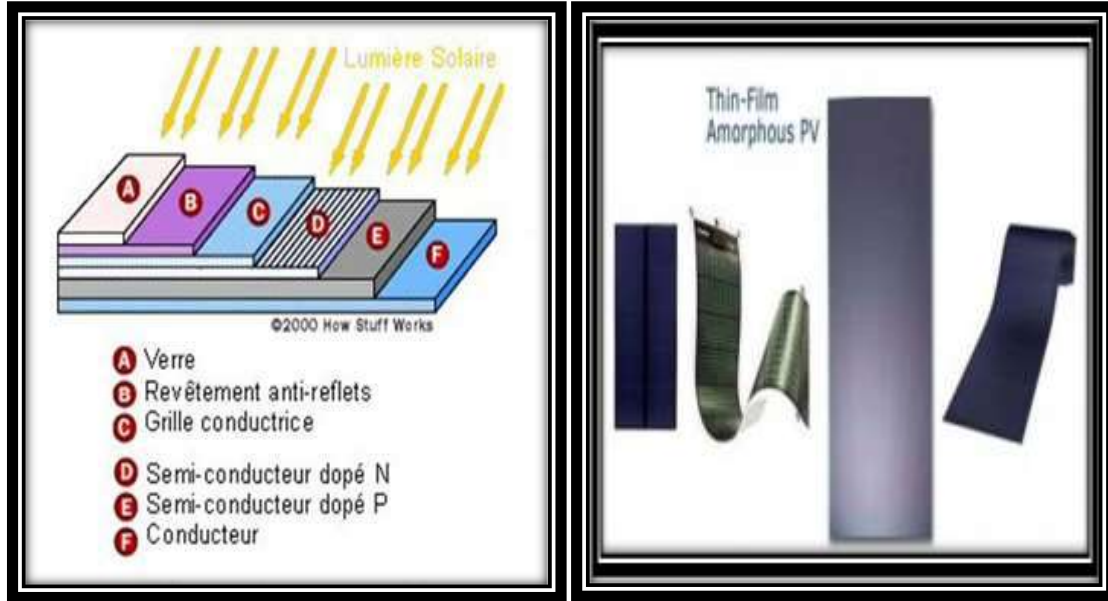
أن تتوفر بألوان أخرى كالرصاص، لهذا النوع لمعان خفيف في المظهر الخارجي و تتراوح كفاءة الخلية الشمسية من (10% إلى 14%)



الشكل (1-17) الخلايا أحادية التبلور و متعددة التبلور و غير المتبلورة

13-2 الخلايا الشمسية الرقيقة:

هي أحد أنواع الخلايا التي تجذب إهتمام واسعا من قبل المصممين بسبب قابليتها على التشكل، حيث من الممكن أن تتوفر بأشكال صلبة (غير قابلة للطي) كباقي الأنواع أو خلايا بهيئة رقائق متعددة Thin Film خفيفة الطبقات يتم ترسيبها عند التصنيع بطبقات رقيقة و بسبك لا يتجاوز بعض الميكرونات، ومن مواصفات الخلايا الشمسية من هذا النوع أنها مرنة و قابلة للطي و خفيفة الوزن و من الممكن إستخدامها على السطوح الأفقية و المنحنية بكفاءة عالية ولا يتم إستخدام الزجاج بها و لا تحتاج إلى هياكل للتثبيت [1]



الشكل (1-18) أشكال الخلايا الرقيقة.

و من أنواعها:

1-2-13 خلايا متعدد الطبقات:

هي خلايا شمسية يتم تصنيعها من مادة السليكون، تتوفر بلون بني مائل للأحمر

أو باللون الرمادي، و تتراوح مجمل الكفاءة النهائي من (7 % - 9 %). [1].

2-2-13 خلايا الكالسيوم:

يمتاز بامتصاصية عالية للضوء، ومن الممكن أن تمتص طبقة بسبك 1

ميكرون 90 % من الضوء، كما يمتاز بسهولة التصنيع، إلا أن عدم إستقرار أدائية الخلية الشمسية

لحد الآن يعد أحد العوائق أمام إستخدامه، و تتراوح كفاءتها (7 % - 10 %). [1].

13-2-3 خلايا النحاس:

إمتصاصيتها للضوء عالية، فطبقة بسمك 0.5 ميكرون تمتص % 90 من الضوء، إلا أن عملية تصنيعه تكون معقدة لذلك تكون كلفتها أعلى من باقي الأنواع، و هي غير متوفرة للأغراض التجارية. تصل كفاءتها إلى % 18. [1].

13-2-4 خلايا الغاليوم:

تسمى بالخلية الشمسية ثلاثية الأبعاد بسبب قدرتها العالية على إقتناص الفوتونات و هي خلايا عالية الكفاءة، حيث تم التوصل إلى كفاءة مخبرية لهذا النوع بحدود % 35.6 يستخدم هذا النوع لتطبيقات الفضاء.

13-3 الخلايا الشمسية العضوية (OPV):

تعتبر الخلايا الشمسية العضوية ذات كفاءة جيدة نسبيا في الجيل الثالث من الخلايا الشمسية المتوفرة حاليا. تقنيات الأغشية الرقيقة الأخرى قد تنتج خلايا شمسية بكفاءة في حدود % 8 و الخلايا الشمسية التقليدية المعتمدة على السليكون لها كفاءة في حدود % 12 إلى % 15 و هذا ما جعل الخلايا الشمسية العضوية مرشحة لإستبدال التقنيات الأخرى المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية التي تثبت على أسطح المنازل، لما تمتلك من مزايا عديدة تجعلها الأفضل في هذا المجال.

كما أن الخلايا الشمسية الصبغية تزداد كفاءتها في حالة إرتفاع درجة الحرارة في حين أن الخلايا الشمسية المعتمدة على أشباه الموصلات فإن كفاءتها تقل بزيادة درجة الحرارة، كما أن تصميم الخلايا الصبغية يجعلها قادرة على تبديد الحرارة الداخلية بشكل أفضل مما يساهم في أن تعمل في درجات حرارة منخفضة. [1].



الشكل (1-19) مجموعة من الخلايا الشمسية بتقنية الصبغات العضوية.

13-4 الخلايا الشمسية الكهروضوئية المركزة (CPV):

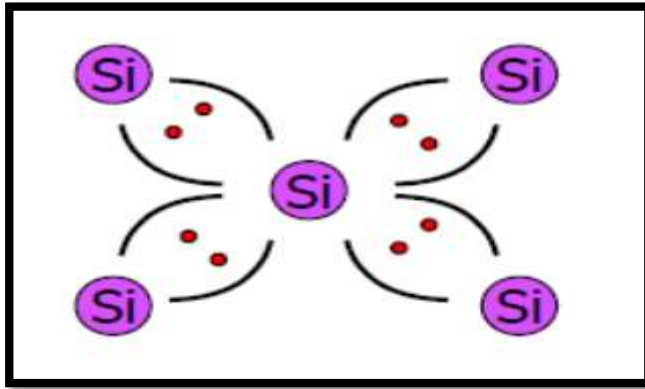
إبتكر سبكترولاب (Spectrolab) ما يسمى خلية شمسية مركزة الشكل (1-20) تحول الطاقة الشمسية إلى كهرباء بكفاءة %7.4 و تعتبر رقما قياسيا عالميا، حيث تقوم الفكرة الرئيسية لهذا النوع من الخلايا على أساس إستخدام مواد كهروضوئية شبه موصلة بأقل قدرة من التكاليف و أقصى درجة ممكنة من تجميع أشعة الشمس و تركيزها على الخلايا بإستخدام عدسات تجميع متراكبة، و توليد الكهرباء فيها يتراوح %20 إلى %30 [1]



الشكل (1-20) الخلايا الكهروضوئية المركزة (CPV)

14- مكونات الخلية الكهرو شمسية:

تصنع الخلية الشمسية عادة من مادة بلورية سميكة كالسليكون البلوري Crystalline Silicon، أو مادة لابلورية رقيقة كالسليكون اللابلوري (Si-a Silicon Amorphous) هذه المواد هي إحدى مواد أشباه الموصلات (النواقل) المعروفة. تمتلك ذرة السليكون أربع إلكترونات تكافؤية و تشترك مع ذرات السليكون المجاورة في رابطة تساهمية (تشاركية) [2]

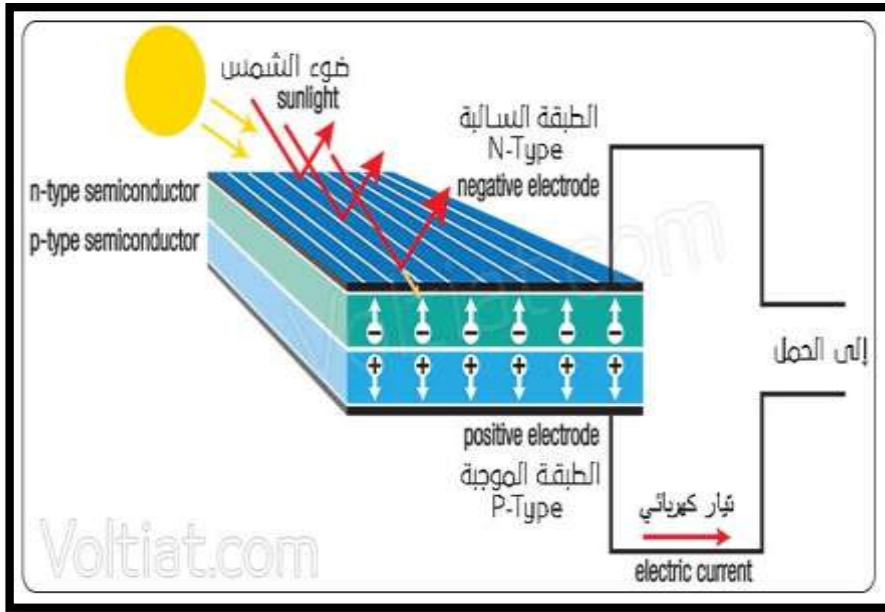


الشكل (1-21): بنية السليكون

15- آلية عمل الخلايا الشمسية:

عند تعرض الخلية للضوء فإن الإلكترونات الحرة تمتص طاقة الفوتونات المكونة لإشعاع شمسي، أي أن الطاقة المنبعثة من الشمس تصطدم بسطح الخلية في شكل فوتونات وهي عبارة عن طاقة إشعاع كهرومغناطيسي ليس لها شحنة و لا كتلة. إذا كانت طاقة الفوتون كافية فإنها تعمل على تحفيز الإلكترونات في الخلية الشمسية مما يولد جهدا كافيا لدفع هذه الإلكترونات في دوائر الحمل، أي أن عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر هذا الضوء من خلال سطح الخلية و يمتص منه جزء بواسطة الطبقة الأولى للخلية و هي طبقة السليكون و المحتوية على الفوسفور (أي النوع n) أما غالبية الضوء الساقط على هذه الخلية فيقوم بامتصاصه الجزء الخاص بذلك أي طبقة السليكون المحتوية على البور (أي النوع p). [1]

خلال هذه العملية تتحرر الإلكترونات حيث يمكنها السريان (حركة) خلال الموصل المتصل في أطراف الخلية، بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية تزداد حركة الإلكترونات، و بالتالي يتشكل تيار كهربائي مستمر، وعند توصيل حمل كهربائي بين طرفي الخلية الشمسية يتم الإستفادة من حركة الإلكترونات الناتجة من سقوط ضوء الشمس على الخلية، ويوضح الشكل (1-22) فكرة عمل الخلية الشمسية (الفوتوفولطية).



الشكل (1-22) فكرة عمل الخلية الشمسية

16- ملحقات الخلية الشمسية:

1-16 الألواح الشمسية:

عبارة عن خلايا شمسية مجمعة مع بعضها البعض تنتج كهرباء تيار مستمر DC يمكن أن يستخدم لتشغيل بعض المعدات أو تخزينها في بطاريات يعاد شحنها و إستخدامها أكثر من مرة و تقاس قوة تلك الخلايا بوحدة الواط، فهناك لوحات صغيرة تبدأ من 5 واط أو 15 واط حتى تصل إلى ملايين من الواطات للأبنية الكبيرة و المصانع. [3]



الشكل (1-23) الألواح الشمسية

2-16 منظمات الشحن:

وهي المرحلة الثانية في النظام الشمسي، و تقوم بالعديد من الوظائف كالتالي:

✓ تحتوي على قاطع داخلي (fuse) يقوم بحماية الخلية الشمسية من التلف في حالة تلامس

أطرافها معا وحدوث قصر في الدارة (circuit short)

✓ تعمل على تنقية و تثبيت الفولت الخارج من الخلية الشمسية إلى الجهاز الذي يعمل على الجهد

المستمر DC

✓ تقوم بتنظيم عملية شحن البطاريات حيث أن عملية الشحن تختلف في آليتها عن مجرد توفير

مصدر للطاقة المستمرة موصول بالبطارية. حيث تكون قيمة جهد الشحن مساوي لقيمة البطارية و

قيمة تيار الشحن تساوي تقريبا 15% من التيار الذي تسعه البطارية، و إذا زادت تلك النسبة

بكثير فستحدث عملية شحن سريع للبطارية تؤدي إلى إضعافها و إستهلاكها بسرعة مع مرور

الوقت، وإذا قلت تلك النسبة بدرجة كبيرة فسيتم شحن البطارية في وقت طويل و بشكل بطيء جدا

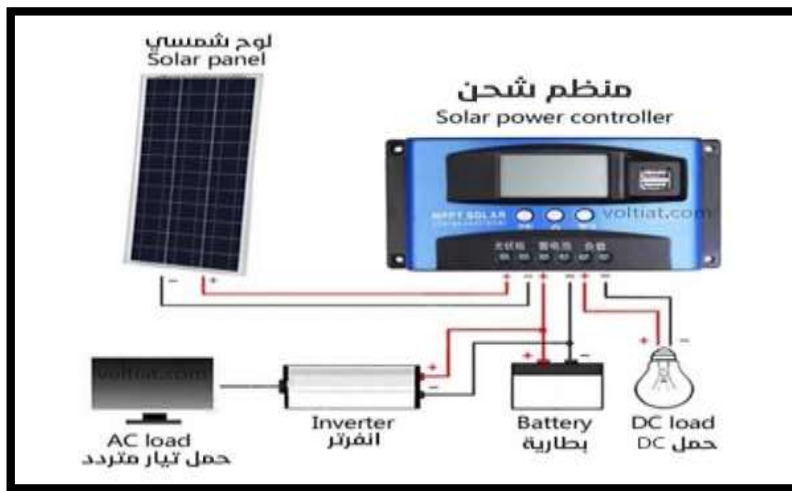
✓ تعمل على ضمان عدم رجوع التيار الكهربائي من البطارية إلى الخلية مرة أخرى لأنه في حالة فصل الحمل و في ظل عدم وجود منظم للشحن، فإن الخلايا الشمسية يمكن إعتبارها حمل يعمل على سحب التيار من البطارية إلى الخلايا بشكل عكسي مرة أخرى مما يعمل على إتالفها. [3]

3-16 البطاريات:

وهي الوحدة المسؤولة عن تخزين الطاقة و تفريغها عند الحاجة، أي أن لها وظيفة مزدوجة، ويمكن أن تشبهها بالبالونة التي تستطيع إدخال الهواء بداخلها لتعبئتها تحت ضغط خارجي أو فتح فوهتها ليخرج الضغط الداخلي إلى الخارج مرة أخرى. [3]

4-16 العواكس (Inverters):

وتأتي أهمية تلك المرحلة عند الحاجة إلى إستخدام تلك الخلايا لتوليد كهرباء عالية متغيرة تستطيع تشغيل الأجهزة الكهربائية و الإلكترونية الكبيرة في المنازل أو المصانع، فيجب علينا إستخدام الأجهزة تسمى عواكس والتي تقوم بتحويل التيار المستمر سواء كان 12 فولت أو 24 فولت أو أي قيمة أخرى إلى تيار متغير عالي (110V AC or 220V AC) لتشغيل الأجهزة التي تعمل على التيار المتغير أو الأجهزة الثقيلة. [3]



الشكل (1-24): عاكس الخلية الشمسية و منظم الشحن والبطارية

17- إيجابيات وسلبيات الخلايا الشمسية :

إن استعمال الخلايا الشمسية له العديد من اللمسات الإيجابية منها

✓ ليس لها ضوضاء عند العمل

✓ تحتاج إلى صيانة قليلة

✓ تدوم لفترات طويلة حيث تبقى فعاليتها لمدة عشرين إلى ثلاثين سنة

ومثل العديد من مصادر الطاقة المتجددة فإنها تواجه معوقات منها

✓ لا يمكنها إنتاج طاقة في الليل

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

✓ تصبح بمرور الوقت أقل كفاءة [2]

الخلاصة:

تعرفنا في هذا الفصل على مفهوم الإشعاع الشمسي ومعظم المفاهيم المرتبطة بالخلايا الشمسية.

قمنا بالتطرق إلى أنواع وآلية عمل ومكونات الخلية الشمسية، كما سلطنا الضوء على الخصائص

المميزة للخلية الشمسية. كما ركزنا في عملنا هذا على نوع من الخلايا الشمسية وهو الخلايا

الشمسية ذات الأغشية الرقيقة.

الفصل الثاني: التعرف على برنامج سيلفاكو أتلان

❖ تعريفه ونبذة عنه

❖ هياكله

❖ مخططه العام

❖ كيفية استعماله

مقدمة:

في هذا الفصل سوف نتعرف على برنامج المحاكاة (Silvaco-Atlas) و كيفية إستخدام هذا البرنامج. يتضمن (Silvaco) مجموعة واسعة من الدراسات المتكاملة في تطوير و وصف الخلايا الشمسية. سنقوم بتطبيق هذا البرنامج من أجل دراسة محاكاة خلية شمسية.[7]

1- نظرة عامة عن سيلفاكو أطلس (Silvaco-Atlas):

منذ نشأته عام 1984 من قبل الدكتور إيفان بيسيتش (Ivan Pesic)، تطور سيلفاكو ليصبح محاكي أشباه الموصلات الأكثر أهمية. كلمة "Silvaco Tcad" هي اختصار مؤسسة وادي السليكون للتصميم بمساعدة الكمبيوتر [6]

(Siliconvalley corporation Technology Computer aided design)

وهي مجموعة لمحاكاة أشباه الموصلات حيث تتكون من العديد من الوحدات الفرعية للمحاكاة الفيزيائية (Athena، Atlas، Mercury، Suprem.....) التي تم تجميعها تحت بيئة واحدة تسمى Deckbuild. كل واحد منها يحاكي عمليات مختلفة[6].

2- تعريفات :

1-1-"Silvaco International":

هي شركة برمجيات تقدم برامج محاكاة في جميع مجالات الإلكترونيات، بما في ذلك الدوائر التناظرية والرقمية. تملك هذه الشركة برامج نمذجة التوابع البسيطة إلى مخططات الدوائر المتكاملة و المتطورة وأدوات الإستخراج.[7]

2-2-"Silvaco-Atlas":

عبارة عن محاكي لجهاز أشباه الموصلات يعتمد على مبادئ الفيزياء الثنائية والثلاثية الأبعاد، مما يعني أنه يمكنك التنبؤ بالخصائص الكهربائية المرتبطة بهياكل مادية محددة وظروف

الإستقطاب. يتم تحقيق ذلك عن طريق تقريب تشغيل الجهاز على شبكة ثنائية أو ثلاثية الأبعاد. تشمل على عدد من نقاط الشبكة تسمى العقد. من خلال تطبيق مجموعة من المعادلات التفاضلية المشتقة من قوانين (ماكسويل) على هذه الشبكة. كما يمكنك محاكاة تنقل الموجات الحاملة من خلال الهيكل هذا يعني أنه يمكننا نمذجة الكفاءة الكهربائية للجهاز في التيار المباشر أو المتردد أوفي أوضاع تشغيل مختلفة [7].

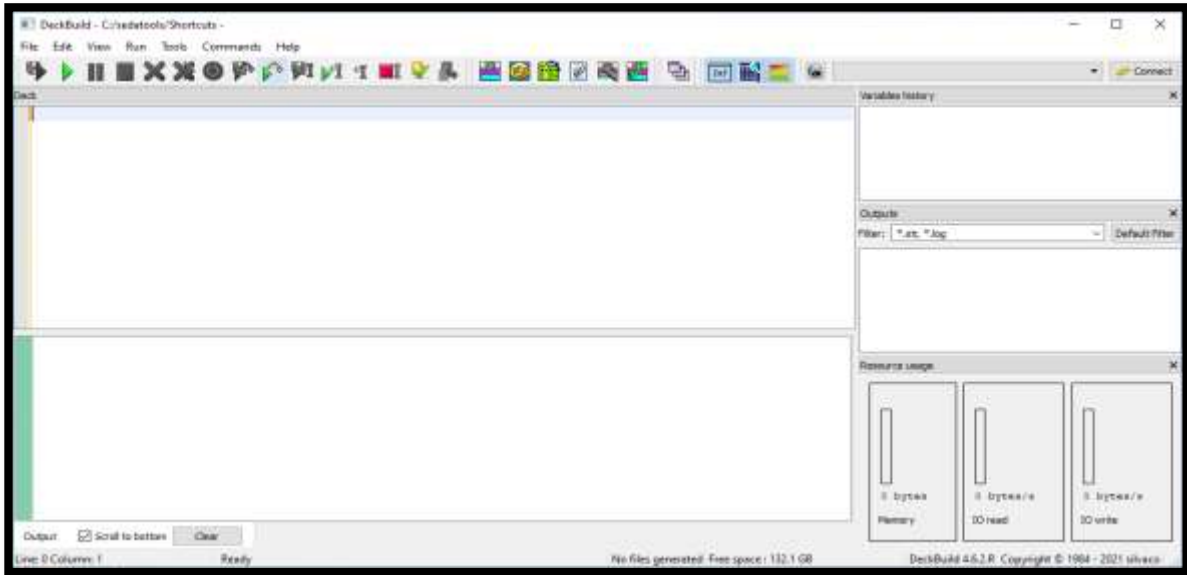
-يحتوي سيلفاكو على أداتين أساسيتين هما:

: DECKBUILD-3

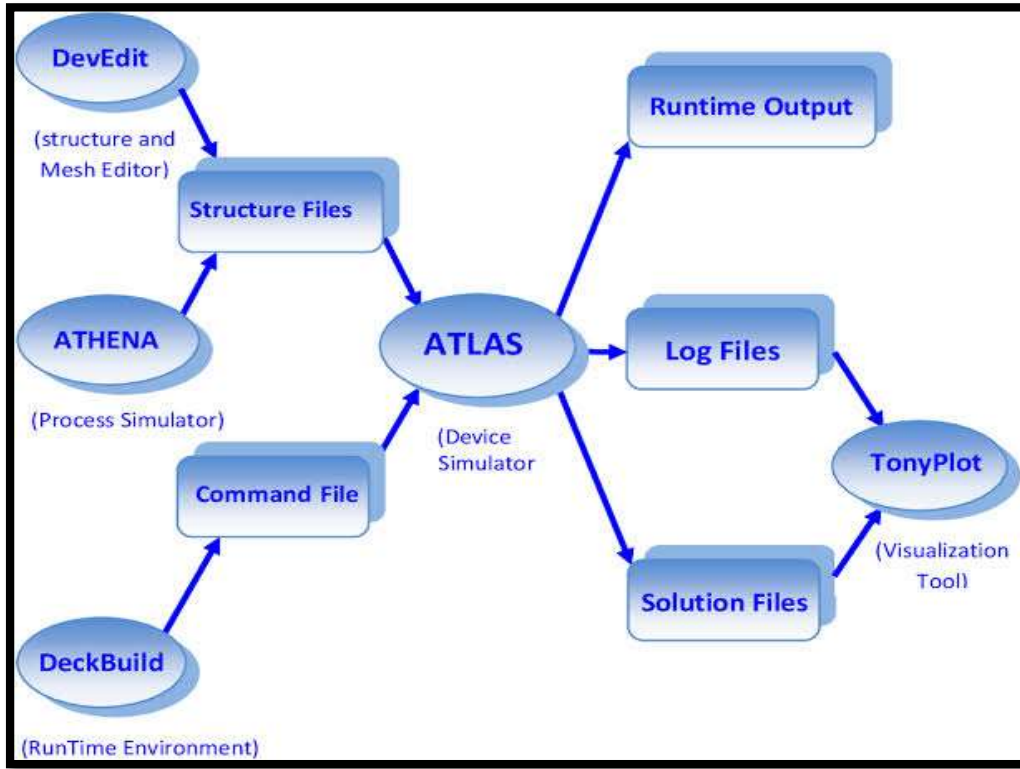
هي عبارة عن بيئة تشغيل تفاعلية لكتابة برنامج المحاكاة. يعتبر النافذة الرئيسية لسيلفاكو

يتكون من نافذة للإدخال ونافذة للإخراج والتحكم ومجموعة من النوافذ المنبثقة.

حيث يمكن من خلاله التحكم في جميع الوحدات الفرعية للمحاكاة [7] [6].



الشكل (1-2) : الواجهة الرئيسية ل Deckbuild



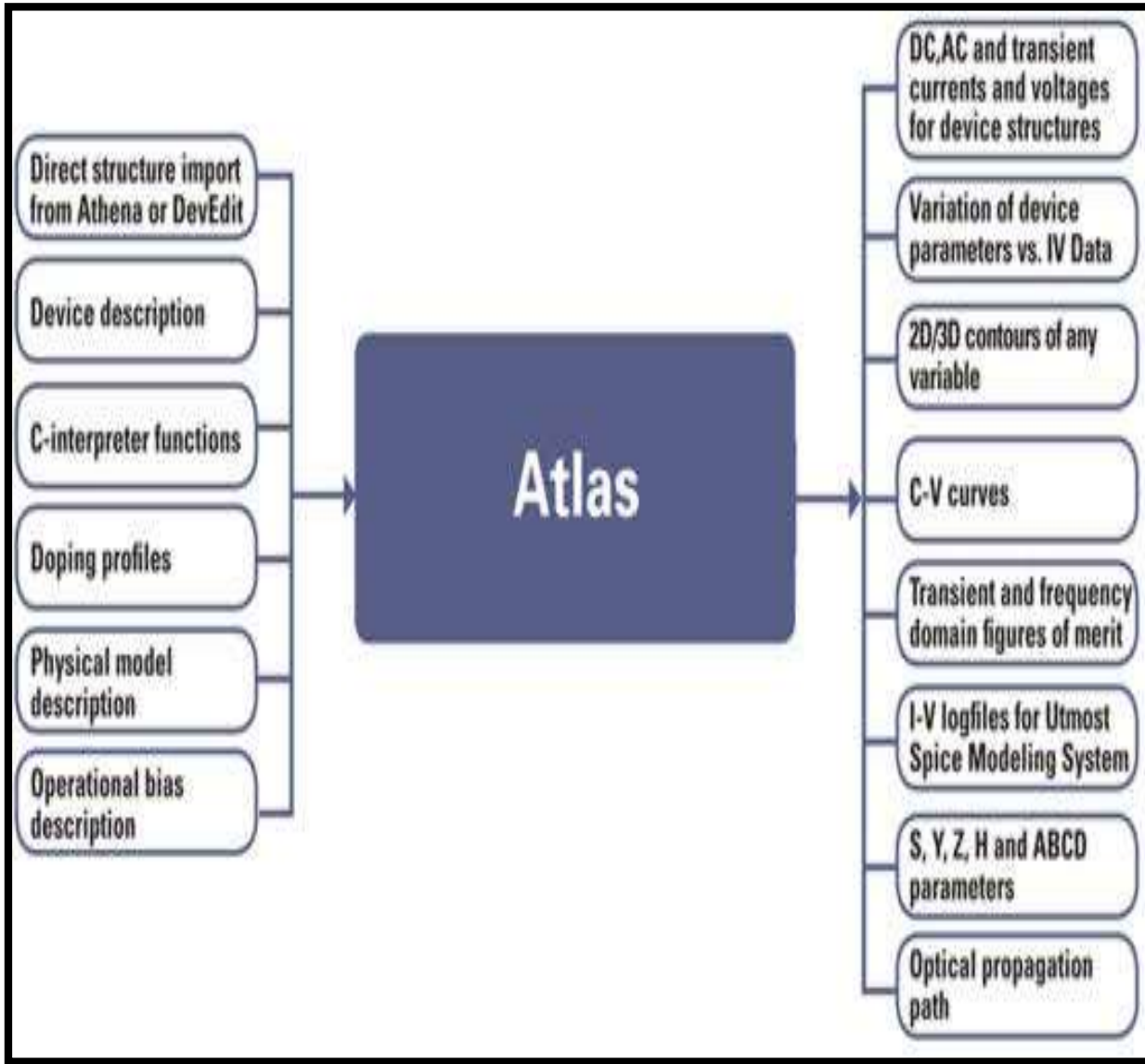
الشكل (2-2) : مخطط يوضح التواصل بين جميع مكونات سيلفاكو

4-أطلس "Atlas" :

هي وحدة فرعية من وحدات سيلفاكو تقوم بمحاكاة الخصائص الكهربائية والضوئية والحرارية المرتبطة بالبنية الفيزيائية المدروسة (وصلة p-n، ترانزستور، خلية شمسية... الخ) في حالات إستقطاب مختلفة (إستقطاب مباشر أو عكسي، مستمر، متناوب.... الخ). بالإضافة إلى السلوك الكهربائي فإن Atlas يوفر معلومات حول التوزيع الداخلي للمتغيرات مثل خطوط التيارات الكهربائية، الحقل الكهربائي أو الجهد.

يوفر أطلس منصة لتحليل استجابات جميع الأجهزة القائمة على أشباه الموصلات في بعدين أو

ثلاثة أبعاد تحت إي نوع من أنواع الإستقطاب. [7]



الشكل (2-3): مخطط يوضح مداخل ومخارج اطلس

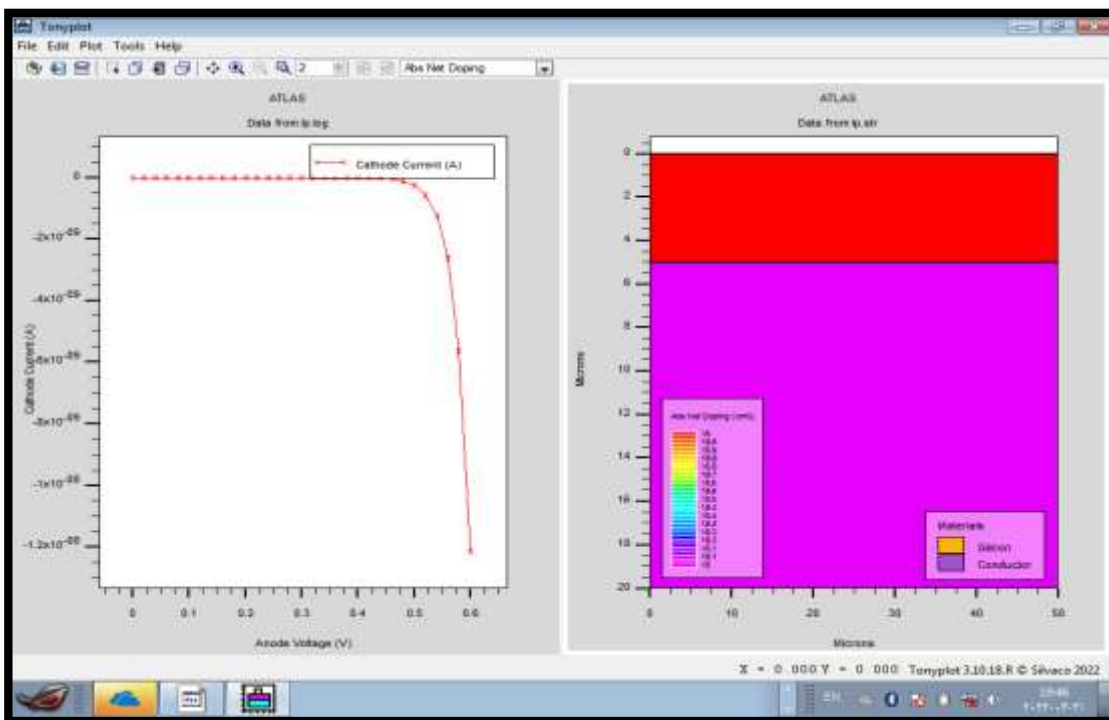
: TONYPLOT-5

هي الأداة الخاصة برسم النتائج التي تم الحصول عليها من المحاكاة حيث توفر إمكانيات لرسم البيانات بطريقة علمية بما في ذلك البيانات x-y ذات المحاور الخطية أو اللوغاريتمية، البيانات القطبية، البيانات السطحية والمحيطيةالخ. يمكن أن يعمل (Tonyplot) بشكل مستقل أو

مع الأدوات التفاعلية الأخرى مثل (Deckbuild). [6] [7].



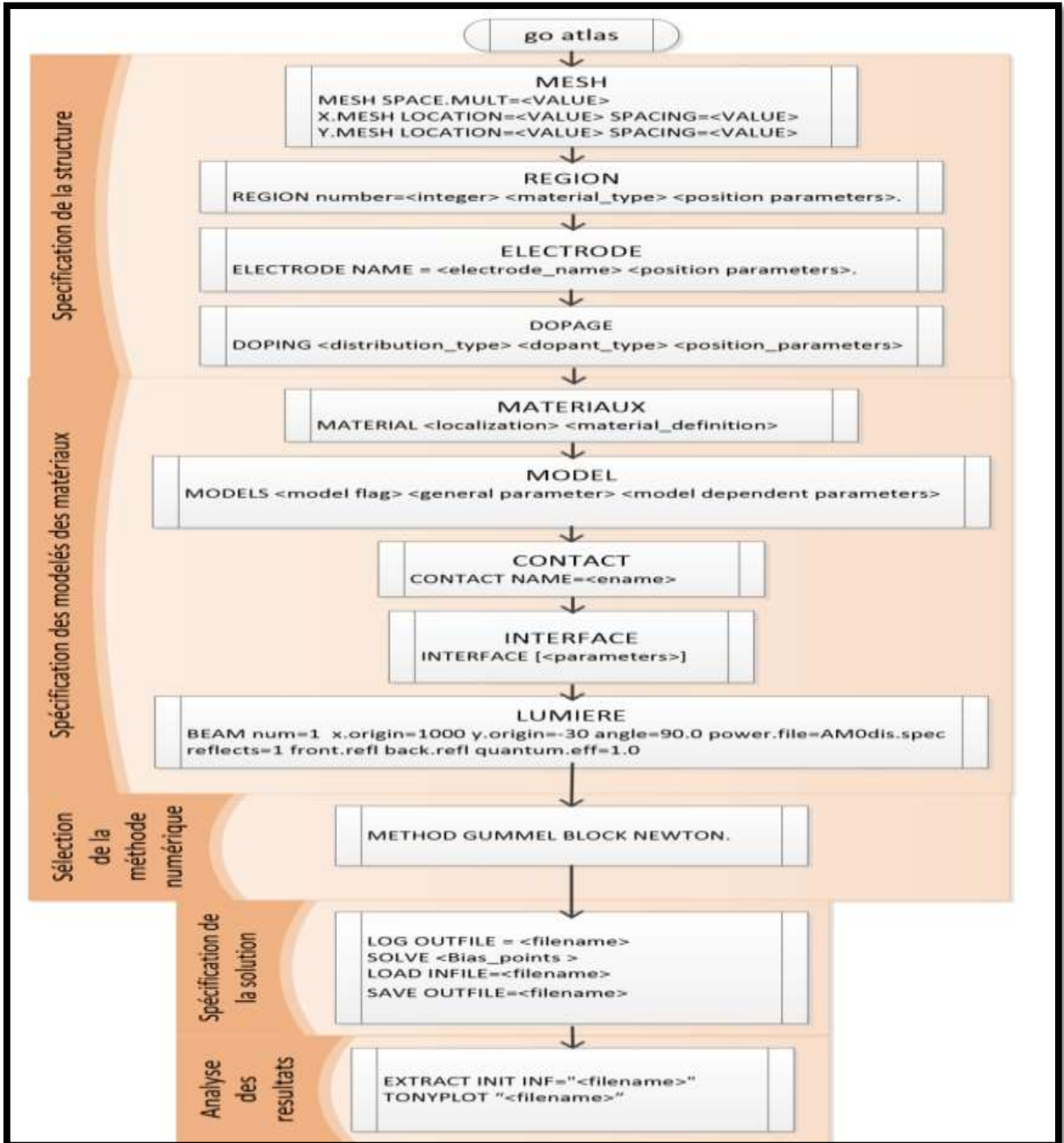
الشكل (2-4) واجهة tonyplot



الشكل (2-5) النتائج التي تم الحصول عليها من المحاكاة في واجهة tonyplot

6-المخطط العام لبرنامج (Silvaco-Atlas) :

من أجل تحديد خلية شمسية في هذا البرنامج من الضروري إدخال الأبعاد وخصائص المواد وكل هذا يتم في واجهة الإدخال (Deckbuild) كما هو موضح في المخطط الانسيابي التالي [7]



الشكل (2-6) مخطط الإنسيابي العام لبرنامج سيلفاكو أطلس

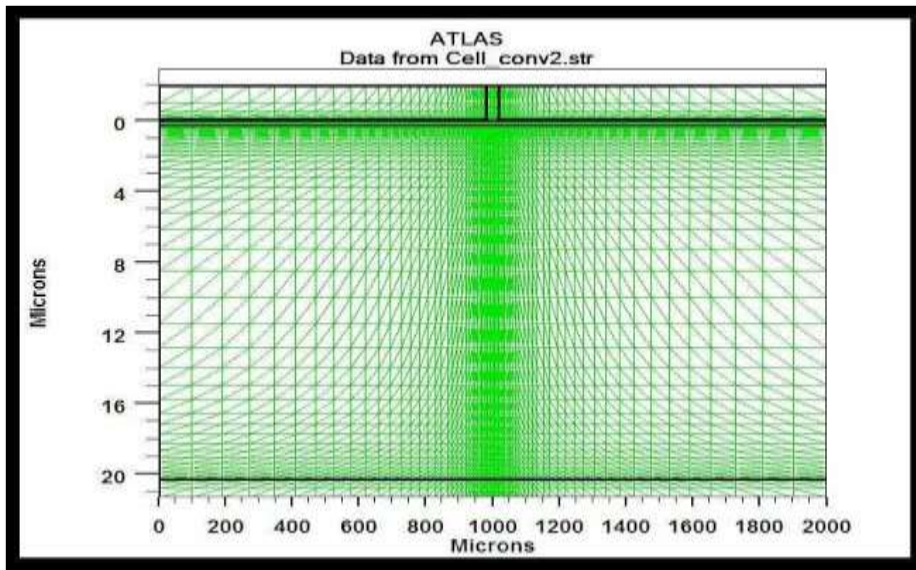
- تنقسم طريقة محاكاة وإدخال المعلومات في هذا البرنامج إلى خمسة مراحل تقريبا وهي كالاتي:

7-تحديد البنية

7-1-الشبكة "Mesh" :

بعد كتابة التعليمات (go Atlas) يجب تحديد الشبكة وهي الخطوة الأولى في بناء الجهاز .

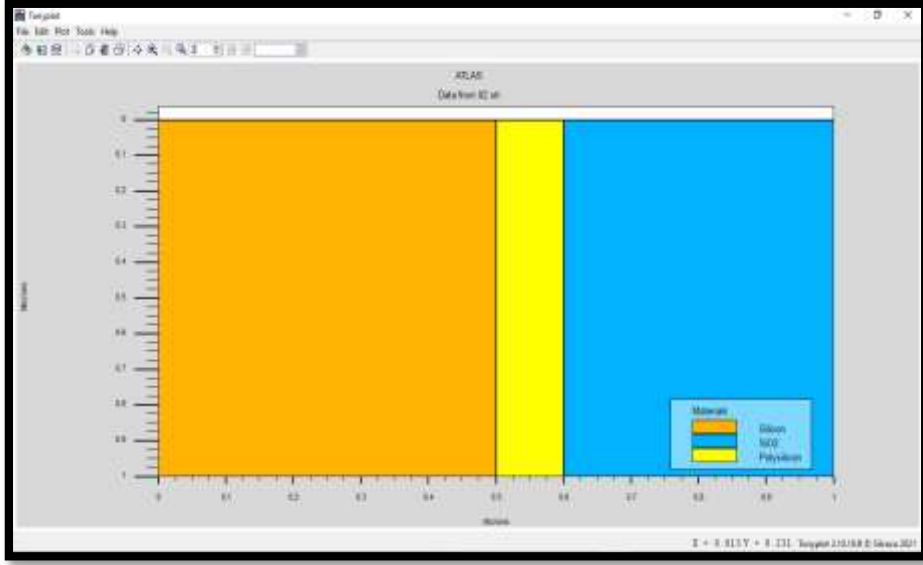
الشبكة هي عبارة عن المنطقة المادية تتم فيها بناء الجهاز ومحاكاته. يتم تحديدها من خلال سلسلة من الخطوط الأفقية والعمودية التي يحددها المستخدم، تلعب الشبكة دورا مهما في الحصول على عمليات محاكاة جيدة لذلك يجب أن يتم ذلك بأكبر قدر من العناية لضمان موثوقية النتائج، يستخدم أطلس الأمر (Mesh) لتحديد الشبكة، و(location) لتحديد مواقع الخطوط الرئيسية و (spacing) التي توضح المسافة بين الخطوط الثانوية بالميكرو متر [6].



الشكل (7-2) صورة توضح تقسيم الشبكة

7-2- المناطق والمواد "Region et Material" :

بعد تحديد الشبكة يجب تحديد المناطق أيضا، وذلك عن طريق تحديد رقم المناطق وطبيعة المادة المكونة لكل منها، كما يجب ترتيب المناطق من الأدنى إلى الأعلى على سبيل المثال لا يمكن تحديد المنطقة 5 قبل المنطقة 4. يستخدم أطلس الأمر (region) لتحديد هذه المناطق.[6]



الشكل (2-8) صورة توضح تقسيم المناطق إلى مواد مختلفة

7-3- القطب الكهربائي (Electrode) :

يجب تحديد الأقطاب الكهربائية للخلية الشمسية و تعريف نوعية القطب لكل منطقة إذا كان

كاثود (مهبط) أو الأنود (مصعد) و تنقسم إلى نوعين :

7-3-1 الإكترودات الوهمية:

في هذه الحالة يمكن تحديد اسم الإلكتروود (مصعد، مهبط...الخ) ومكان تواجده.

7-3-2-الكترودات حقيقية :

في هذه الحالة يجب تعريفهما كمناطق تحوي مواد ناقلة ثم تحديد إسم كل إلكتروود

ومكان تواجده. [6] يمكن أن يكون في بعض البنيات مناطق ناقلة ولكننا لا نستعملها

كالإلكترونيات، لذا فإن أطلس يفرض علينا إعادة تعيين كل إلكترون على حدة حتى بعد تعريف

مناطق الإلكترونيات على أنها مواد ناقلة فهو لا يتعرف عليها تلقائياً. [6][7]

نذكر بأن برنامج سيلفاكو لديه القدرة على تحديد 50 قطب وضبطه. [6].

7-4-4-التطعيم "Dopage" :

نذكر نوعان لتعريف توزيع التطعيم [5]

7-4-1-التطعيم المنتظم:

في هذه الحالة نستعمل التعلية (Uniform) كما يجب تعريف قيمته بالتعلية

(Concentration)، ثم نوع التطعيم إما N أو P. وأخيراً مكان التطعيم إما بتحديد منطقة كاملة

أو عن طريق تحديد حدود التطعيم. [6].

7-4-2-التطعيم العشوائي:

في هذه الحالة نستعمل التعريف اليدوي وذلك بتعريف توزيع التطعيم في نقاط مختلفة

من البنية في ملف خارجي ثم قراءته بواسطة أطلس.

8- المواد والنماذج المستعملة :

بمجرد تجميع الهيكل بالكامل، يجب تحديد المواد المستخدمة لبناء الجهاز يمكننا إضافة مواد

جديدة بخصائص نقوم نحن بتحديدنا. وتطبيقها على منطقة معينة. [5].

8-1- النماذج الفيزيائية المستعملة:

للوصول بالحاكاة إلى مستوى واقعي، يجب الأخذ بعين الاعتبار الكثير من العوامل المعقدة

التي يمكن أن تؤثر على خصائص الجهاز، نذكر على سبيل المثال تأثير تركيز الحاملات الحرة

على الناقلية. الأخذ بعين الاعتبار لهذه العوامل ليس ضروريا في بعض الحالات، لذا تجنب

الحسابات الإضافية يوفر اطلس نماذج مستقلة لوصف كل تأثير على حدة، بحيث يمكن تفعيل كل نموذج بشكل منفصل. هذه أهم النماذج التي يستعملها أطلس

(incomplete ، bgn ، fldmob ، evsatmod). بحث تقوم كل تعليمة بتفعيل نموذج محدد،

يتم تحديد النماذج الفيزيائية بإستخدام التعليمة (models). [7]

8-2- الوصلات المستعملة (Contacts):

بعد تحديد الإلكترونات يجب تحديد طبيعة الوصلة في كل إلكترون، حيث يمكن جعلها وصلة أومية بغض النظر عن طبيعة المادة و يجب تعريف طاقة الإنتزاع وهي القيمة الأساسية لتحديد طبيعة الوصلة بالإضافة لنوع التطعيم نصف الناقل.

8-3- الواجهة (Interface) :

تشير التعليمة (Interface) إلى معلومات الواجهة عند حدود أشباه الموصلات أو العوازل. [8] [7]

8-4- الضوء (Lumier) :

عندما تكون الإضاءة مهمة لجهاز مثل الخلايا الشمسية هناك إمكانية لإستخدام عدد من مصادر الضوء وضبطها من حيث الموقع والتوجيه والشدة. يمكن وصف طيف الضوء مع جميع التفاصيل الضرورية. [9] [6]

8-5- خصائص المواد :

يمكن تغيير خصائص المواد المستعملة في المحاكاة وذلك بإستخدام الأمر (Materiel).

9- الطرق الرقمية للحل :

يحتوي برنامج سيلفاكو أطلس على عدة طرق عددية لإيجاد الحلول و مشاكل أشباه

الموصلات. نذكر ثلاثة طرق رئيسية [7]

9-1 طريقة (Gummel):

والتي تكون مفيدة عندما يكون ملف نظام المعادلات ضعيف الارتباط (التقارب الخطي فقط)،

تعتمد هذه الطريقة على حل المعادلات في جميع النقاط لكل متغير على حدة، مع إعتبار قيم باقي

المتغيرات ثابتة. مع تكرار هذه العملية حتى الوصول إلى حل مستقر. [6]

9-2 طريقة (Bewton):

التي تكون مفيدة عندما يكون نظام المعادلات قوي وله تقارب تربيعي (من الدرجة الثانية)

تتطلب هذه الطريقة قيم إبتدائية أكثر دقة من الطريقة الأولى كما أنها تستغرق وقتاً أطول نسبياً

[6].

9-3 طريقة (Block):

تظهر أهمية هذه الطريقة في حالة إستخدام نموذج تسخين الشبكة حيث يصبح النظام مكون

من أربعة معادلات. في هذه الحالة نستخدم طريقة (Block)، بينما نستخدم طريقة (Newton)

في حل معادلات الأساسية الثلاثة وبعد ذلك يتم حل معادلة التدفق الحرارة في خطوة منفصلة. [6]

ملاحظة :

يمكن أيضاً الحل بإستخدام مجموعة من الطرق المذكورة سابقاً معاً من خلال البدء بإستخدام

طريقة (Gummel) فإذا لم يحدث تقارب في عدد معين من التكرارات يتم التبديل إلى

طريقة (Newton) أو (Block).

10- تحديد الحل:

بعد جميع الخطوات السابقة تصبح المحاكاة جاهزة للانتقال إلى بدء العمليات الحسابية من

أجل حل نظام المعادلات رقمية. يمكن تقسيم هذا الجزء إلى مايلي :

10-1 إعطاء الأمر بانطلاق الحساب :

وذلك بإستخدام عبارة (solve) كأمر لانطلاق الحساب في إكترود المحدد. [7]

10-2 إنشاء ملفات حفظ النتائج: وتتقسم إلى نوعين:

- ملفات البيانات ذات الإمتداد (log) وهي الخاصة بحفظ المنحنيات البيانية المتحصل عليها من المحاكاة، تعرف هذه الملفات بإستعمال الأمر (log) متبوع بتعليمة خاصة لتسمية الملف
- ملفات البنية ذات الإمتداد (str) وهي خاصة بحفظ جميع المعطيات المتعلقة بالبنية مثل توزيع التطعيم. تعرف هذه الملفات بإستعمال الأمر (save) متبوع بتعليمة خاصة لتسمية الملف. [6]

ملاحظة:

يقوم الأمر (save) بحفظ الحالة الكهربائية للبنية في آخر نقطة فرق الكمون ثم حساب الحل فيها .

11- عرض النتائج:

بعد جميع الحسابات في المراحل السابقة لم يبقى سوى رسم النتائج على وحدة (tonyplot)

وذلك بإستخدام الأمر (tonyplot) متبوع بالتعليمة (file) واسم الملف والإمتداد. [7] [6]

الخلاصة:

في هذا الفصل قدمنا وصفا تفصيليا نسبيا لبرنامج المحاكاة (Silvaco-Atlas). حددنا فيه هياكل هذا البرنامج وأدواته و قدراته على إيجاد جميع المعلومات الداخلية والخارجية المتعلقة بالجهاز المدروس (خلية شمسية).

الفصل الثالث: المحاكاة والنتائج

- ❖ مبدأ العمل التجريبي والنتائج المتحصل عليها
- ❖ كيفية المحاكاة ونتائجها
- ❖ دراسة تأثير شدة الإضاءة و زاوية السقوط على كثافة التيار
والجهد وقدرة خلية

مقدمة:

تعد المحاكاة العددية للخلايا الشمسية طريقة ضرورية لإيجاد المعايير المثالية للخلية وإختبار تأثيرات الخصائص الفيزيائية على أدائها. هذا العمل هو عبارة عن دراسة تجريبية لخلايا شمسية قصد استنتاج مميزاتا ثم استعمال المحاكاة ببرنامج سيلفاكو أطلس لنفس الغرض. نقوم بإستنتاج المنحني تيار - جهد والمنحني الإستطاعة لخلايا شمسية تجريبا ثم استعمال المحاكاة للحصول على النتائج، كما نقوم بدراسة تأثير شدة الإضاءة وزاوية السقوط الضوء على الخصائص المميزة للخلية الشمسية (تيار دارة القصر - جهد الدارة المفتوحة - الإستطاعة و الكفاءة).

1- الجانب التجريبي :

1-1 **مبدأ العمل:** من أجل دراسة خلية شمسية تجريبا و إستخراج خصائصها المميزة نحتاج إلى

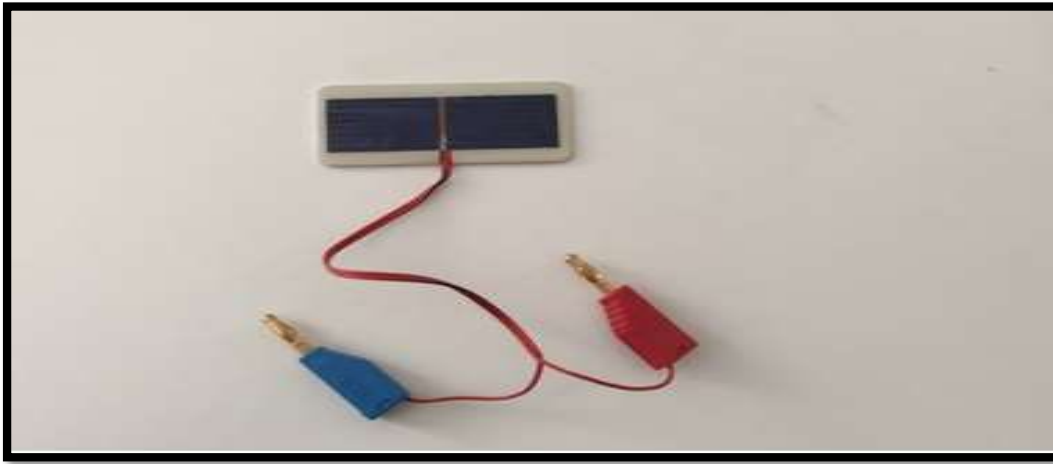
بعض الأدوات لإنجاز التجربة، الأدوات المستعملة موضحة في الجدول التالي :

جدول (1-3) يوضح الأدوات المستعملة في العمل التجريبي

| الأدوات | الغرض منه |
|-----------------------------|------------------------|
| 1- خلية شمسية | من اجل الدراسة |
| 2- أسلاك توصيل | من اجل التوصيل |
| 3- فولط متر | قياس التوتر |
| 4- أمبير متر | قياس شدة التيار |
| 5- مصدر ضوئي (مصباح) | مصدر الفوتونات (إشعاع) |
| 6- مقاومة متغيرة (rhéostat) | تغيير الجهد وتيار |

-أولاً: نقوم بقياس تجريبي لجهد الدارة المفتوحة V_{oc} عن طريق ربط الخلية بالشكل (1-3) على التفرع مع الفولط متر .

نقوم بقياس تجريبي لتيار الدارة القصيرة I_{sc} وذلك بربط أقطاب الخلية الشمسية مباشرة مع جهاز الأمبير متر مع تعريض الخلية للضوء. الشكل

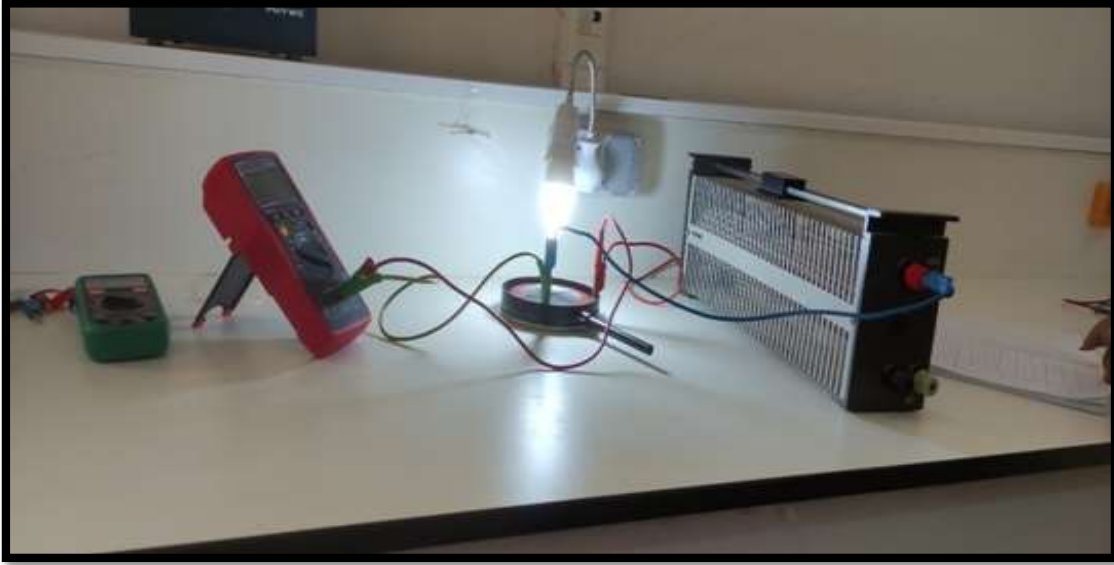


الشكل (1-3) يوضح صورة للخلية المدروسة

-ثانياً: نقوم بربط الخلية الشمسية مع المقاومة المتغيرة ، و ربط الأمبير متر ويكون على التسلسل، ونقوم كذلك بربط الفولط متر مع الخلية الشمسية على التفرع.

نعرض الخلية الشمسية للضوء . وفي كل مرة نقوم بتغيير قيمة المقاومة نقرأ قيمتي التيار والجهد ونقوم بتسجيلها في جدول من أجل رسم المنحنى المميز (IV)

-ثالثاً: بعد التحصل على قيم الجهد والتيار نستنتج قيم الاستطاعة ثم نسجل النتائج في الجدول (2-3)



الشكل (2-3) يوضح العمل التجريبي

2-1- قيم الجهد والتيار و الإستطاعة: الجدول (2-3) يلخص النتائج المتحصل عليها تجريبيا

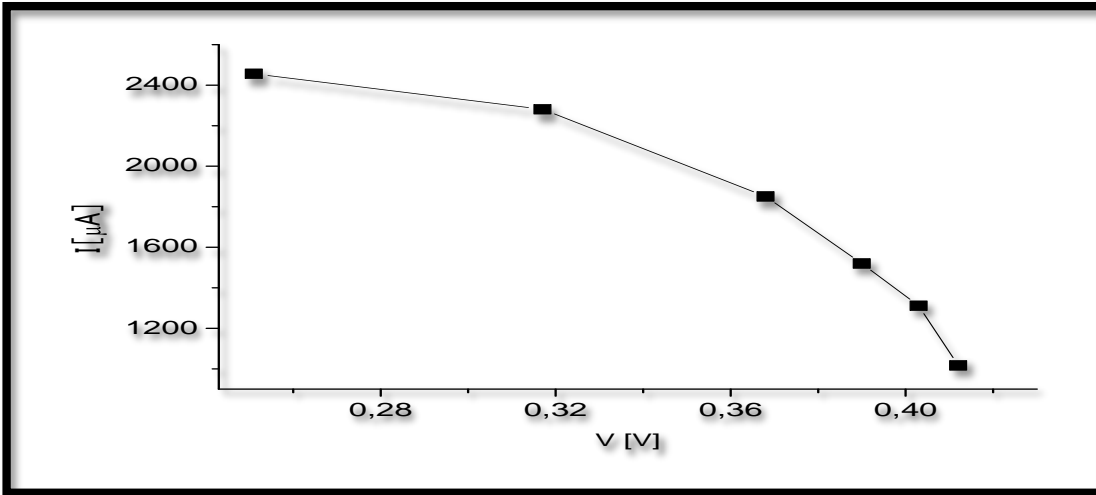
جدول (2-3) يوضح قيم التيار والجهد و الإستطاعة

| P (μ W) | I_{pp} (μ A) | V_{pp} (v) |
|--------------|---------------------|--------------|
| 0.000 | 3490 | 0.000 |
| 208.488 | 3066 | 0.068 |
| 616.456 | 2456 | 0.251 |
| 728.000 | 2281 | 0.317 |
| 681.168 | 1851 | 0.368 |
| 592.800 | 1520 | 0.390 |
| 528.333 | 1311 | 0.403 |
| 419.004 | 1017 | 0.412 |
| 0.000 | 0.000 | 0.428 |

نستعمل نتائج الجدول (2-3) لرسم المنحني المميز تيار- جهد الشكل (3-3) للخلية الشمسية

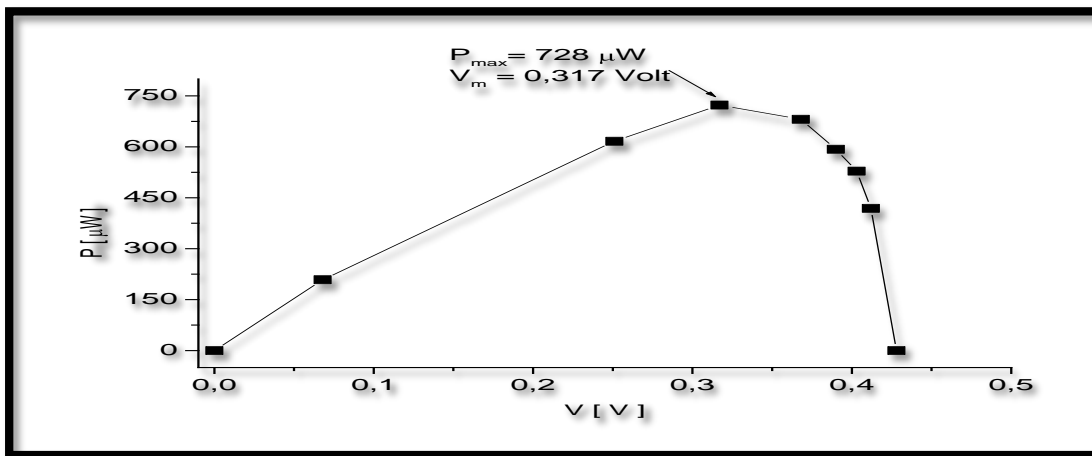
المدروسة

3-1-المنحني المميز (IV) :



الشكل (3-3) المنحني المميز تيار-جهد للخلية الشمسية

4-1-منحني الإستطاعة (PV):

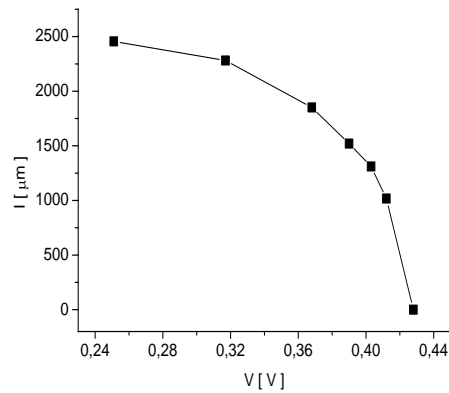
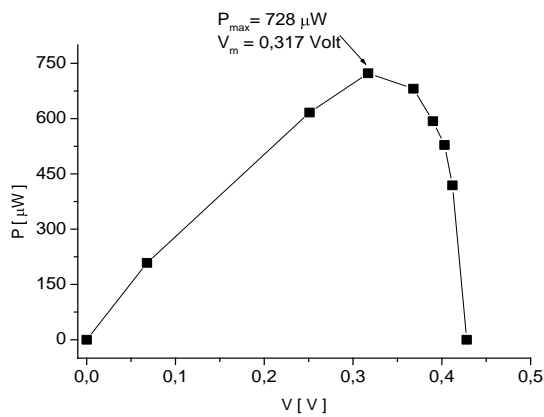
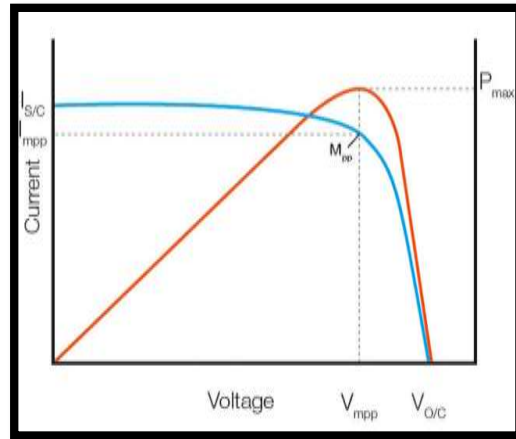


الشكل (4-3) منحني يوضح تغير الإستطاعة بدلالة الجهد

❖ يظهر الشكل (3-5) أن منحنى تيار جهد المتحصل عليه تجريبيا يتوافق مع المنحنى

المميز النظري لخلية شمسية كذلك فان منحنى الاستطاعة المتحصل عليه تجريبيا يتوافق

في شكله مع المنحنى النظري



الشكل (3-5) توافق المنحنيات النظرية مع النتائج التجريبية

❖ تبين النتائج التجريبية أن التيار الناتج من الخلية الشمسية عند تعرضها لإشعاع أي

ضوء يكون أعظما في حالة قصر الدارة و تكون قيمته I_{sc} و تقدر قيمته بالنسبة لهذه

الخلية 0.35 mA يتناقص التيار الناتج عن الخلية ببطئ مع زيادة التوتر بين طرفيها

حتى 0.36 V ثم بعدها يكون التناقص كبير حتى ينعدم التيار عند التوتر V_{oc} وهو

جهد الدارة المفتوحة الذي يقدر ب 0.428 V

❖ من خلال منحى الاستطاعة نلاحظ تزايد قيمتها بشكل يكاد يكون خطي حتى قيمة

أعظمية P_{max} التي تقدر ب 0.73 mW تقريبا بالنسبة لهذه الخلية الشمسية و ذلك

عند توتر $V_m=0.317\text{ V}$ يمكن استنتاج التيار الموافق للاستطاعة الأعظمية و تكون

قيمه عندئذ $I_m=0.23\text{ mA}$.

تتناقص الاستطاعة بعدها بشكل كبير حتى تنعدم عند جهد الدارة المفتوحة V_{oc} .

❖ من خلال تحليل نتائج التجربة يمكننا استنتاج مميزات الخلية المستعملة في الدراسة و

المسجلة في الجدول (3-3).

1-5- المقادير المميزة :

جدول (3-3) يوضح المقادير المميزة للخلية الشمسية

| | |
|--------------------|------------------------------|
| 0.428 V | جهد الدارة المفتوحة V_{oc} |
| 3490 μA | تيار الدارة القصير I_{sc} |
| 728 μW | الاستطاعة الأعظمية P_m |
| 0.317 V | جهد الاشتغال الأعظمي V_m |
| 2281 μA | تيار الاشتغال الأعظمي I_m |

❖ يمكننا كذلك الحصول على قيمة المقاومة التسلسلية للخلية الشمسية المستعملة في

الدراسة R_s و التي تمثل مقاومة المواد و التوصيلات حيث $R_s = -\frac{\Delta V_{oc}}{\Delta I_{oc}}$. تقدر

قيمة المقاومة التسلسلية للخلية المستعملة في الدراسة ب $R_s = 15.7 \Omega$.

❖ يمكن الحصول على قيمة المقاومة التفرعية للخلية الشمسية المستعملة في الدراسة

R_{sh} و التي تمثل المقاومة الناتجة عن العيوب في المواد المشكلة للخلية الشمسية

حيث $R_{sh} = -\frac{\Delta V_{sc}}{\Delta I_{sc}}$. تقدر قيمة المقاومة التفرعية للخلية المستعملة في الدراسة ب

$$R_{sh} = 0.3 \text{ k}\Omega$$

3- محاكاة خلية شمسية ببرنامج سلفاكو أطلس:

إن الدراسة التجريبية للخلايا الشمسية لا يمكن إجرائها في جميع الظروف خاصة بالنسبة للخلايا الشمسية الصغيرة جدا و التي تستعمل في التكنولوجيا النانوية. تبقى المحاكاة وسيلة ناجعة تمكن من التنبؤ و استخلاص مميزات الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة.

في هذا الجزء نجري دراسة لخلية شمسية باستعمال أحد أكثر البرامج استعمالا في هذا المجال و هو برنامج سيلفاكو أطلس.

2-1 المحاكاة في الظلام: أطلس عبارة عن وحدة فرعية من وحدات سيلفاكو. نقوم بمحاكاة

الخصائص الكهربائية، الضوئية و الحرارية المرتبطة بالبنية الفيزيائية المدروسة. يمكن تشغيل اطلس انطلاقا من Deckbuild بإستعمال الأمر:

go Atlas

-يتم التعامل مع أطلس عادة بإستعمال مجموعة من الأوامر تكون مكتوبة وفق ترتيب منطقي معين حسب ما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (3-4) يوضح بعض الخطوات والأوامر بالترتيب

| الأوامر المستعملة | الخطوة | الترتيب |
|---|-----------------------|---------|
| elctrode ،region ،Mesh doping، | تحديد البنية | 1 |
| models ،Material interfece،contact ، | تحديد المواد والنماذج | 2 |
| Method | تحديد الطريقة الرقمية | 3 |
| save،load ،solve ،Log | تحديد الحل | 4 |
| tonyplot،Extract | تحليل النتائج وعرضها | 5 |

2-1-1 تعريف البنية:

يتم تعريف البنية في برنامج سيلفاكو وفق خطوات محددة وبترتيب محدد

- يجب تعريف الشبكة أولا التي تعتبر أساس الحسابات الرقمية
- توزيع المواد المتواجدة في البنية حسب كل منطقة
- تعريف الإكترودات والمواد المشكلة لها و أماكنها كذلك
- نوع التطعيم وتوزيعه في البنية
- خصائص المواد

❖ الشبكة : يجب تحديد ثلاثة معلومات مهمة وهي اتجاه الخطوط (عمودي Y أو أفقي X) و مواقع الخطوط الرئيسية (location) ثم الخطوات بينهما (spacing) والتي توضح المسافة بين الخطوط الثانوية بالميكرو متر كما هو موضح في الأمر التالي:

```
mesh
x.mesh loc=0 spac=1
x.mesh loc=50 spac=1
y.mesh loc=-7 spac=1
y.mesh loc=22 spac=1
```

تتطلب المحاكاة الدقيقة شبكة متقاربة و هذا يؤدي إلى تكوين عدد كبير جدا من العقد وبالتالي محاكاة بطيئة. لهذا يجب مراعاة شرط آخر وهو الحد الأقصى لعدد العقد التي يدعمها البرنامج، قد تحتوي المحاكاة ثنائية الأبعاد على ما يصل إلى 100.000 عقدة. بينما قد تحتوي عمليات المحاكاة ثلاثية الأبعاد على ما يصل إلى 20.000.000 عقدة مع عدم وجود أكثر من 100.000 عقدة في المستوى الواحد أو 2000 في مستوى بالإتجاه Z كحد أقصى.

❖ المناطق: تحدد المناطق بتوفير ثلاثة معلومات أساسية وهي رقم المنطقة، حدود المنطقة، المادة المكونة للمنطقة ويتم ذلك باستخدام الأمر (Region) كالتالي:

```
region num=1 material=Vacuum x.min=0 x.max=50 y.min=-7 y.max=-5
region num=2 material=sin x.min=0 x.max=50 y.min=-5 y.max=-2
region num=3 material=silverx.min=0 x.max=50 y.min=-2 y.max=0
region num=4 material=silicon x.min=0 x.max=50 y.min=0 y.max=3
region num=5 material=siliconx.min=0 x.max=50 y.min=3 y.max=20
region num=6 material=aluminumx.min=0 x.max=50 y.min=20 y.max=22
```

الحد الأقصى المسموح به في هذا البرنامج هو 1000 منطقة سواء كانت المحاكاة ثنائية أو ثلاثية الأبعاد. كما يُلزمنا أطلس بتحديد رقم كل منطقة على حدة، أما بالنسبة للمواد فيكفي إختيار المادة المستعملة من بين العديد من المواد المستعملة المعرفة في قاعدة بيانات أطلس.

الجدول (3-5) يوضح قائمة المواد المعرفة في قاعدة بيانات سيلفاكو أطلس:

جدول (3-5) يوضح أنصاف النواقل و المواد

| أنصاف النواقل الأحادية | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|
| Silicon | | PolySilicon | | Germanium | | Diamond | |
| أنصاف النواقل الثنائية | | | | | | | |
| AlSb | AlP | AlN | AlAs | InSb | InP | InN | InAs |
| CdTe | CdSe | CdS | BeTe | SiGe | PbTe | PbSe | PbS |
| GaSb | GaN | GaP | GaAs | ScN | SiC-6H | SiC-4H | SiC-3C |
| IGZO | HgTe | HgSe | HgS | ZnSe | ZnS | SnTe | ZnO |
| ZnTe | | | | | | | |
| أنصاف النواقل الثلاثية | | | | | | | |
| AlGaIn | AlGaP | AlGaAs | AlAsSb | InAlAs | InGaAs | HgCdTe | GaSbP |
| AlPAs | AlPSb | AlInN | AlGaSb | InAsSb | InAlSb | InAlP | InAsP |
| GaSbAs | GaAsP | GaAsSb | CdZnTe | InPSb | InGaSb | InGaN | InGaP |
| أنصاف النواقل الرباعية | | | | | | | |
| AlGaNP | AlGaNAs | AlGaAsSb | AlGaAsP | InAlGaIn | InGaAsP | InAlGaAs | InAlAsP |
| InAlAsSb | CuInGaSe ₂ | AlInNP | AlInNAs | InGaAsSb | InGaN | InGaNAs | InAlGaP |
| InPAsSb | | | | | | | |
| المواد العازلة | | | | | | | |
| BPSG | Ambient | Al ₂ O ₃ | Air | SnO ₂ | SiN | SiO ₂ | Si ₃ N ₄ |
| La ₂ O ₃ | HfSiO ₄ | HfO ₂ | BSG | Vacuum | TiO ₂ | TiO | Ta ₂ O ₅ |
| Sapphire | OxyNitride | Oxide | Nitride | | | | ZrO ₂ |
| المواد الناقلة | | | | | | | |
| AlSiTi | AlSiCu | AlSi | Aluminum | Platinum | PCM | Palladium | PaSi |
| Conductor | CoSi | Copper | Cobalt | Tantalum | Silver | PtSi | Polysilicon |
| GST | Gold | GaSbTe | Contact | Titanium | TiSi | Tin | TaSi |
| Lead | ITO | Iron | In ₂ O ₃ | WSi | Tungsten | TiW | TiON |
| Nickel | NiSi | MoSi | Molybdenum | ZrSi | | | |
| المواد العضوية | | | | | | | |
| CuPc | CBP | BAIq | Alq3 Org. | TPD | Tetracene | PPV | Pentacene |
| NPD | NPB | Irppy | IGZO | | | | |

❖ التطعيم:

- تطعيم المنتظم: يتم تحديد هذا النوع بإستعمال التعليمة (Uniform). في

هذه الحالة يجب تعريف قيمة التطعيم بإستعمال التعليمة

(concentration)، ثم النوع التطعيم

(n type أو p-type) وأخيرا مكان هذا التطعيم إما بتحديد المنطقة كاملة عن طريق تحديد

رقمها أو تحديد حدود التطعيم كما موضح في السطرين التاليين:

```
doping unif con=1e19 n.type region=4
doping unif con=1e18 p.type region=5
```

- تطعيم عشوائي : يتم بإستخدام تعريف التوزيع اليديوي، وذلك بتعريف توزيع

التطعيم في نقاط مختلفة للبنية في ملف خارجي ثم قراءته بواسطة اطلس

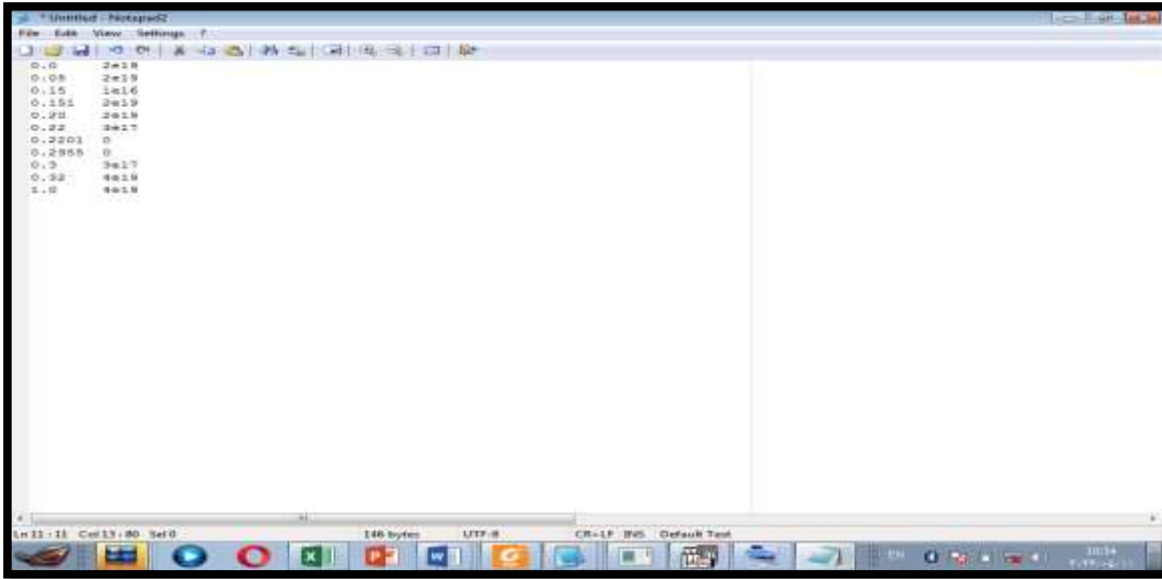
كما هو موضح في هذا السطر

```
Doping x.min=0.0 x.max=1.0 y.min=0.0 y.max=1.0 n.type ascii
infile=name.dat
```

حيث تحدد التعليمة (ascii) نوع الملف الذي يحوي التوزيعة، بينما تحدد (infile) اسمه. يجب

أن يحتوي الملف على عمودين على الأقل، الأول خاص بالعمق والثاني خاص بالتركيز كما هو

موضح في الشكل (3-6)



الشكل (3-6) نموذج لملف خارجي لتعريف توزيع التطعيم

❖ الإلكترونيات :

يمكن تعريفهما مباشرة أو كمناطق تحوي مواد ناقلة (وهذا في خطوة تحديد المناطق)،

ثم تحديد اسم كل إلكترود ومكان تواجده بإستعمال التعليمات التالية :

```
electrode name=anode region=3
electrode name=cathode region=6
```

2-1-2 المواد والنماذج المستعملة :

❖ الوصلات المستعملة: يجب تحديد طبيعة الوصلة في كل إلكترود، حيث يجب تعريف

طاقة الإنتزاع (workfunction) كما هو مبين في السطر الثاني، وهي القيمة

الأساسية لتحديد طبيعة الوصلة بالإضافة لنوع التطعيم نصف ناقل

```
Contact name=cathode workfunction=4.1
```

❖ خصائص المواد: يمتلك أطلس قاعدة بيانات كبيرة لخصائص كل مادة من المواد المعرفة مسبقا. لكن الخصائص لا تكون دائما ثابتة حيث يمكنها أن تتأثر بعدة عوامل نذكر منها طريقة التحضير على سبيل المثال. لذا يوفر أطلس إمكانية التعديل في خصائص المواد المستعملة في المحاكاة و ذلك بإستعمال الأمر (material) كالاتي:

```
Material material=azo EG300=3.35 MUN+10 MUP+5
affinity=4.4 NC300+2.2e18 permittivity=9
```

❖ النماذج الفيزيائية: تعتمد دقة النتائج المحصلة عليها على النماذج المستخدمة في المحاكاة .
يتم تحديد النماذج الفيزيائية باستخدام عبارة (modes) كالتالي :

```
Models bgn incomplete fldmob evsatmod=1
temperature=300 print
```

حيث تقوم كل تعليمة (evsatmod، fldmob، incomplete،bgn) بتفعيل نموذج فيزيائي محدد. بينما تحدد التعليمة (température) درجة الحرارة العامة في البنية بالكفن. وتقوم التعليمة (print) بطبع تفاصيل النماذج المفعلة في نافذة المخارج الخاصة ب Deckbuild

3-1-2 الطرق الرقمية:

هناك ثلاثة أنواع رئيسية من الطرق العددية وهي (Block، Newton،Gummel) يتم

تحديد هذه الطرق بإستخدام التعليمة (Méthode) كالتالي:

```
Methode Gummel Newton block
```

يمكن أيضا الحل باستخدام مجموعة من الطرق المذكورة سابقا من خلال بدء الحل باستخدام طريقة (Gummel) فإذا لم يحدث التقارب في عدد معين من التكرارات يتم تبديل إلى طريقة (Block) أو (Newton) من خلال اعتماد هذه الإستراتيجية في الحل، يمكن لطريقة (Gummel) استخراج حل ابتدائي يعتبر جيدا للاستعمال في طريقة (Newton).

2-1-4 تخصيص الحل وعرض النتائج: ينقسم إلى ثلاثة مراحل رئيسية:

❖ إعطاء الأمر بإنطلاق الحساب: يستعمل أطلس عبارة (Solve) كأمر لبدأ

الحساب في فرق الكمون و الإلكترونات محددتين ولكن يجب أولا إجراء حساب أولي

مبسط لتحديد الحل الابتدائي ويتم ذلك بإتباع الأمر (Solve) بالتعليمة (Init)

على النحو التالي:

```
Solve init
```

كما انه يمكن حساب الحل عند مجموعة قيم متتالية وذلك على النحو التالي :

```
Solve vcathode=0 vstep=0.1 vfinal=1
name=cathode
```

يقوم هذا المثال بحساب الحل عند مجموعة من الفروقات الكمون المطبقة على المهبط انطلاقا من

الصفير إلى غاية (1(V))، بإستعمال خطوة قدرها (0.1(V)).

❖ إنشاء ملف حفظ النتائج: وتنقسم إلى نوعين

✓ ملفات البيانات: تخزن هذه الملفات في الحاسوب بامتداد (log) وهي

خاصة بحفظ المنحنيات البيانية المتحصل عليها من المحاكاة. يتم ذلك على

النحو التالي:

```
Log outfile=file_name.log
```

يجب تعريف هذا النوع من الملفات قبل إعطاء الأمر ببدء الحسابات، لذا عادة ما تكون هذه

التعليمة هي الأولى في جزء تخصيص الحل.

✓ ملفات البنية : تخزن هذه الملفات بامتداد (str) وهي خاصة بحفظ

جميع المعطيات المتعلقة بالبنية (خلية شمسية في هذه الحالة) نذكر

منها توزيع التطعيم، توزيع تركيز الالكترونات....الخ. يتم تعريف

هذه الملفات باستعمال الأمر (save) متبوع بتعليمة خاصة لتسمية

الملف وذلك على النحو التالي:

```
Save outfile=file_name.str
```

✓ رسم النتائج : بعد تحديد بنية الخلية الشمسية والقيام بجميع

العمليات الحسابية الخاصة بالمحاكاة، وبعد حفظ النتائج لم يبق إلا رسم هذه

النتائج، حيث يتم هذا بالاعتماد على وحدة (tonyplot) وذلك على النحو

التالي:

```
Tonyplot file_name.log
```

```
Tonyplot file_name.str
```

يمكن رسم منحنيين من ملفين مختلفين في نفس البيان وذلك بإضافة التعليمة (overlay) على

النحو التالي:

```
Tonyplot file_name1.log -overlay  
faile_name2.log
```

2-2 محاكاة في الضوء:

لمحاكاة خلية شمسية معرضة للضوء نقوم بنفس خطوات السابقة الخاصة بالمحاكاة في الظلام ولكن بإضافة حزمة ضوئية تكون مسلطة على الخلية .

2-2-1 تعريف الحزمة الضوئية: في مجال الخلايا الشمسية تلعب خصائص المصدر

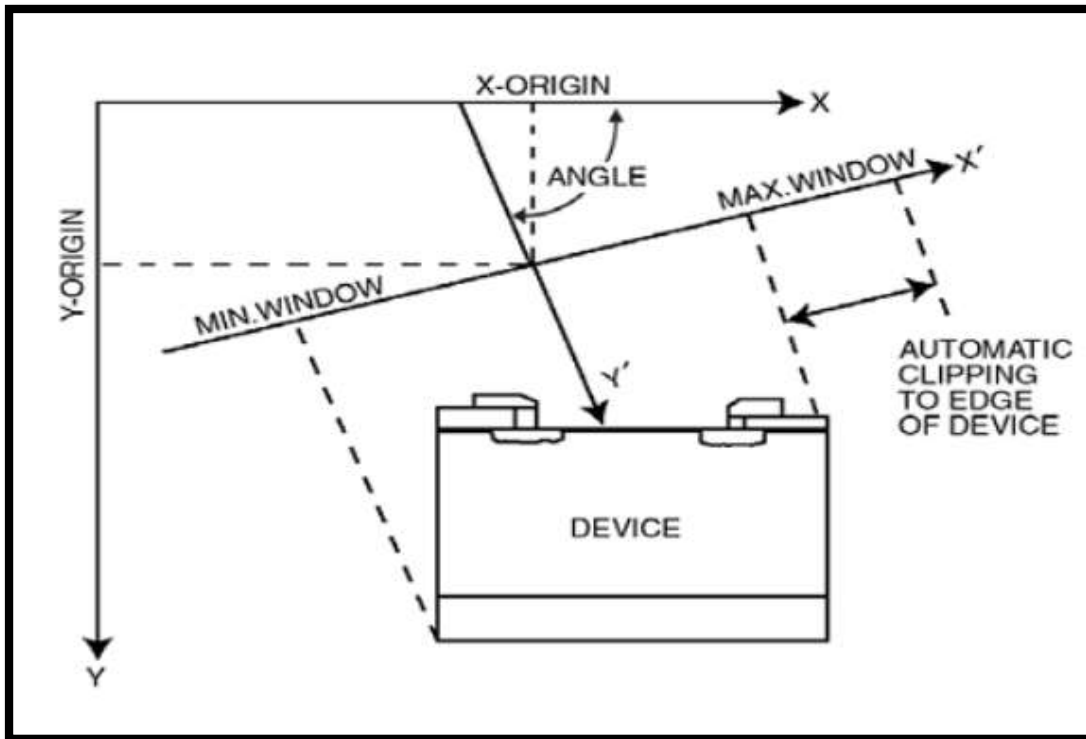
الضوئي دورا محوريا في تحديد جودة وفعالية الخلايا الشمسية المستعملة، وبالتالي فأن التعامل مع الحزم الضوئية وبطرق مختلفة، حيث يمكن تحديد ما يصل إلى عشرة مصادر ضوئية. يجب تعريف كل مصدر ضوئي بدقة وذلك باستخدام الأمر (Beam). تصف التعليمات في كل أمر (Beam) مصدرا ضوئيا واحدا كما هو موضح في المثال التالي:

```
Beam num=1 walvelength=0.6 x.orig=0.5 y.orig=-  
0.2 angle=90.0 min.win=-0.1 max.win=0.1  
min.power=0.05
```

```
Beam num=2 AM1.5 x.orig=1.5 y.orig=-2.0
angle=60.0 wavel.star=0.2 wavel.end=1.2
```

حيث يحدد موقع المصدر الضوئي، باستخدام التعليمتين (x.orig و y.orig) مع الأخذ بعين الاعتبار أن يكون المصدر خارج الجهاز، تحدد التعليمات (Angle) زاوية اتجاه انتشار الحزمة انطلاقاً من المصدر (كما هو موضح في الشكل الموالي)، حيث تحدد الزاوية 90° الإضاءة الشاقولية من الأعلى.

يتم تحديد عرض الحزمة الضوئية باستخدام التعليم (min.window و max.window). إذ تحدد هذه التعليمات حدود حزمة المصدر بالنسبة إلى موقع الحزمة. إذا حذفت أحد الحدود، فسيتم قطع هذا الجانب من الحزمة تلقائياً إلى حافة الخلية.



الشكل (3-7) يوضح تسليط الحزمة الضوئية على البنية [6]

ملاحظة: يجب أن تظهر جميع عبارات (Beam) في أي مكان بعد الخطوة الأولى من البرنامج (عبارات Mesh و Region و Doping و Electrode) وقبل إي عبارة (solve).

❖ **الانعكاس:** من بين الخصائص التي يمكن تحديدها في الأطلس الانعكاس. حيث يمكن تحديد ما إذا كان الانعكاس على الوجه الأمامي سيؤخذ بعين الاعتبار أم سيتم إهماله وذلك باستخدام التعليمة (front.refl). نفس الشيء بالنسبة للانعكاسات الخلفية والجانبية باستخدام (back.refl). إذ يجب تنشيط الانعكاسات الجانبية والخلفية للخلايا الشمسية التي تستخدم العاكس الخلفي لتحسين كفاءتها. يمكننا الأطلس أيضا من تحديد عدد الانعكاسات التي ستؤخذ بعين الاعتبار انطلاقا من التعليمة (REFLECTS=c).

❖ **توزيع الشدة:** عندما تعرف الحزمة الضوئية فإنها تأخذ تلقائيا توزيعا منتظما للشدة الضوئية على كل عرض الحزمة يمكن تحديد قيمتها انطلاقا من التعليمة (B<n>=c) في الأمر (solve)، حيث يعتبر (C) عن شدة الضوء بالواط على السنتمتر مربع (w/cm^2)

❖ **طول الموجة:** وهي نوعين:

✓ **مصادر أحادية اللون:** يمكن استخدام التعليمة (WAVELENGTH) لتعيين

الطول الموجي. يجدر الذكر أن الوحدة المستعملة في تعيين طول الموجة هي الميكرومتر.

✓ مصادر متعددة الألوان: في هذه الحالة يتم وصف شدة الطيف لكل طول موجي في ملف خارجي ذو امتداد (spec). يحدد بواسطة التعليمة (POWER.FILE). يحتوي هذه الملف على عمودين حيث يحوي العمود الأول قيم أطوال الموجات بالمايكرو متر، بينما يقابل كل طول موجة شدته الضوئية في العمود الثاني بالواط على السنتيمتر مربع. يعطي السطر الأول من الملف عدد أطوال الموجات المعرفة في الملف.

يمكن أن تستخدم هذه الطريقة لتعريف الطيف الشمسي لمحاكاة الشمسية. بينما يتم الاعتماد في اغلب الأحيان على القيمة المعيارية للطيف الشمسي (AM0 و AM1.5) المعرفة مسبقا في قاعدة بيانات أطلس، حيث يمكن استخدام احدهما باستخدام التعليمة (AM0 أو AM1.5) في الأمر (beam).

2-2-2 تطبيق الحزمة الضوئية على الخلية :

بعد الانتهاء من تعريف المصادر المراد استعمالها والخصائص الضوئية للمواد المستعملة، يأتي الدور على تسليط هذه الحزم الضوئية على الخلية الشمسية بالشدة المراد، وذلك بتطبيق السطر التالي:

Solve B1=0.1

يقوم هذا السطر بإعطاء الأمر بالبداية في المحاكاة الضوئية، وذلك بتسليط الحزم المرقمة سابقا في التعريف بالحزمة رقم 1، وبشدة قدرها (0.1 w/cm^2) .

بعد الإنتهاء من المحاكاة الضوئية يبقى أطلس محافظ على النتائج المتحصل عليها من آخر حساب (في هذا المثال Solve B1=0.1) لتطبيقها على أي محاكاة كهربائية لاحقة .

إذن لإستخراج خصائص الخلية الشمسية المعرضة للضوء لم يبقى سوى إجراء المحاكاة الكهربائية باستعمال الأمر

```
Solve vcathode=0 vstep=0.1 vfinal=1 name=
cathode
```

3-2-2 إستخراج الخصائص خلية الشمسية:

بعد الانتهاء من المحاكاة الضوئية والكهربائية، يقوم أطلس بتخزين القيم الأساسية فقط (التيار الكهربائي لكل قطب، الكمون على كل قطب، السعة...الخ). لذا يمكن استعمال الأمر (EXTRACT) لاستخراج إي قيمة جديدة بالاعتماد على النتائج الأولية

يتم أولاً تحديد الملف الذي يحوي النتائج الأولية باستعمال الأمر:

```
Extract init infile="iv.log"
```

بعد تحديد الملف يمكن استخراج باقي القيم بالاعتماد على نفس الأمر

❖ تيار قصر الدارة (I_{sc}):

```
Extract name="Isc" y.val from curve(v."anode", i."cathode")
where x.val=0.0
```

❖ جهد الدارة المفتوحة (V_{oc}):

```
Extract name="Voc" x.val from curve(v."anode", i."cathode")
where y.val=0.0
```

❖ الاستطاعة الاعظمية (P_{max}) :

```
Extract name="Pm" max (curve (v."anode", (v."anode" *
i."cathode")))
```

❖ جهد نقطة الإشتغال الأعظمية (V_m):

```
Extract name="Vm" x.val from curve (v."anode",
(v."anode"*i."cathode")) where
y.val=max (v."anode"*i."cathode")
```

❖ تيار نقطة الإشتغال الأعظمية (I_m) :

```
Extract name="Im" $"Pm"/$"Vm"
```

❖ المنحني المميز (IV) :

```
Extract name="IV" curve (v."anode",i"cathode")
outfile="IVcurvelight.data"
```

❖ منحني الاستطاعة (P):

```
Extract name="P" curve (v."anode", (v."anode"*i."cathode"))
outfile="Plight".data
```

❖ معامل الشكل (FF):

```
Extract name="FF" ($"Pm"/ ($"Isc"*$"Voc")) *100
```

❖ الكفاءة (η): نقوم أولاً بإعطاء قيمة مساحة الخلية المعرضة للضوء، واستنتاج قيمة

الشدة الضوئية، ثم نطبق قانون الكفاءة

```
Set area="1e17"
```

```
Extract name="opt_int" max(beam."1")
```

```
Extract name="η" (-$Pm/($"opt_int"*$"area"))*100
```

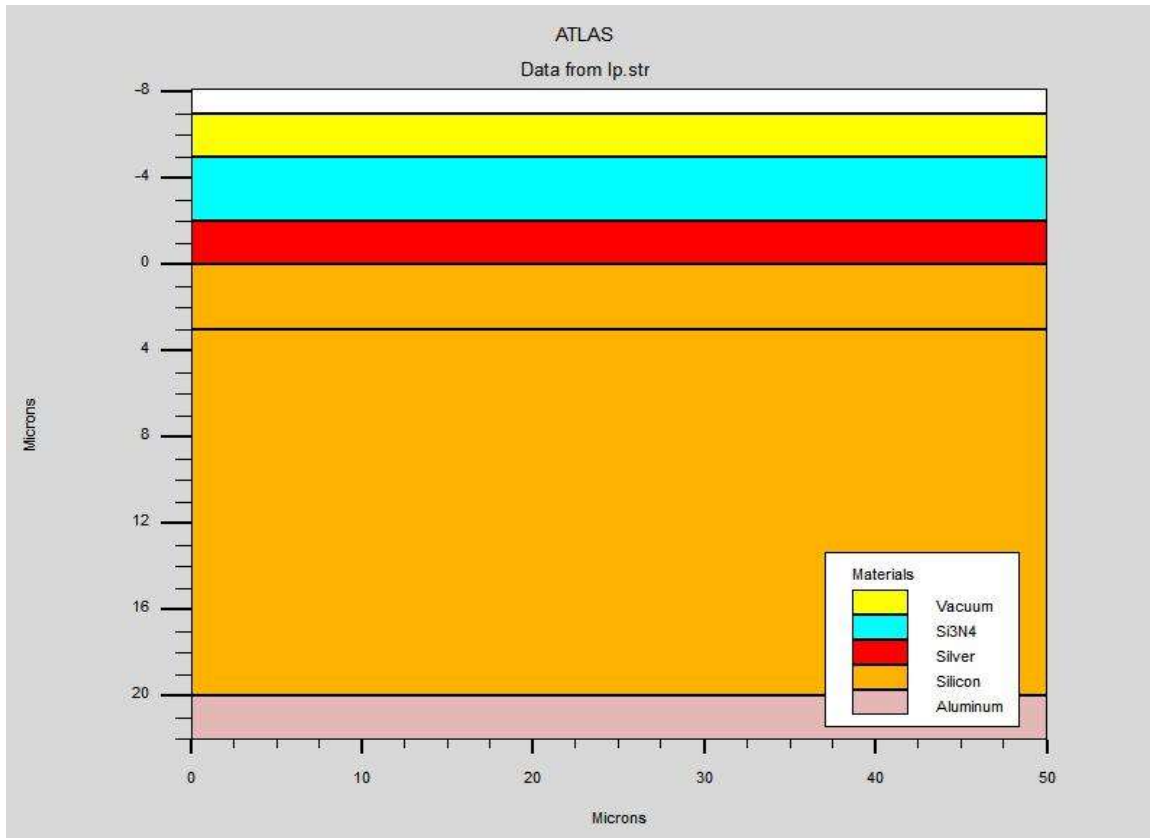
ملاحظة عامة : يعتبر سيلفاكو أن سمك البعد الثالث الغير المحاكي يساوي واحد ميكرو متر

3- النتائج :

3-1 البنية المدروسة:

تتكون الخلية الشمسية من طبقتين من السليكون ذات مساحة $(29-50) \mu\text{m}$

- الطبقة الأولى فراغ (هواء) سمكها $(2 \mu\text{m})$
- الطبقة الثانية مضادة للإنعكاس سمكها $(3 \mu\text{m})$
- الطبقة الثالثة فضية تمثل الالكتروود السالب سمكها $(2 \mu\text{m})$
- الطبقة الرابعة سليكونية سمكها $(3 \mu\text{m})$ مطعمة بتركيز $(1e19)$ من النوع N
- الطبقة الخامسة سليكونية سمكها $(17\mu\text{m})$ مطعمة بتركيز $(1e18)$ من النوع P
- الطبقة السادسة الالمنيوم تمثل الالكتروود الموجب سمكها $(2 \mu\text{m})$

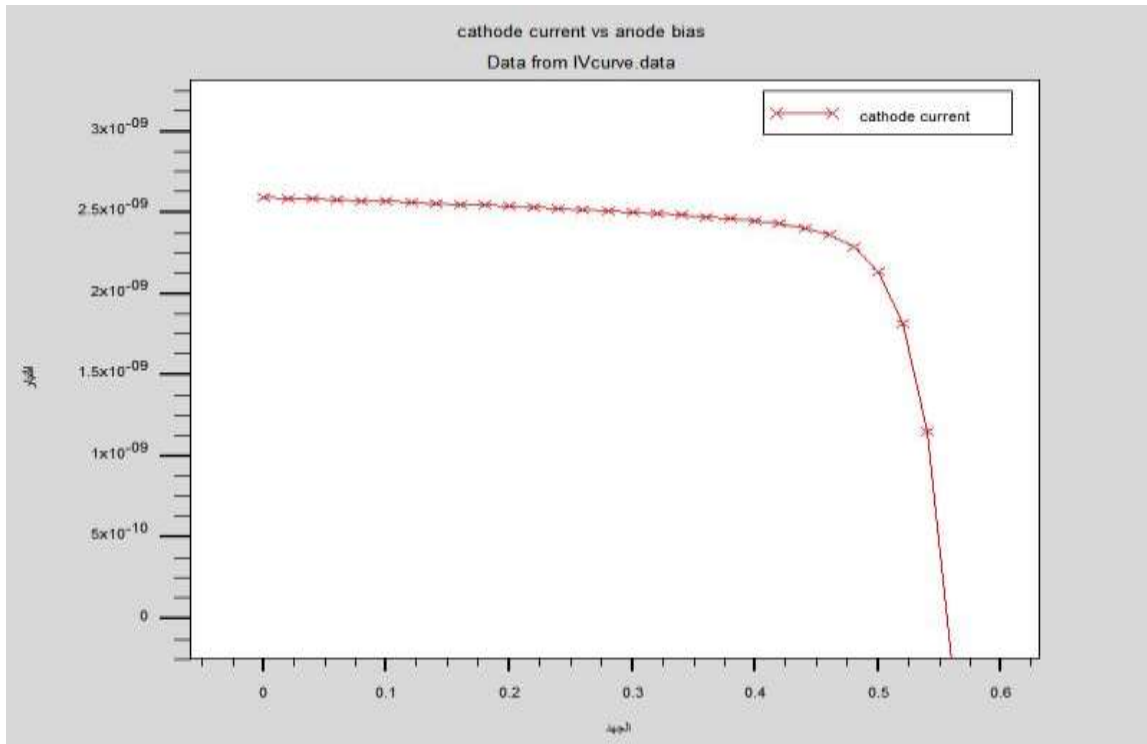


الشكل (8-3) بنية الخلية المدروسة في المحاكاة

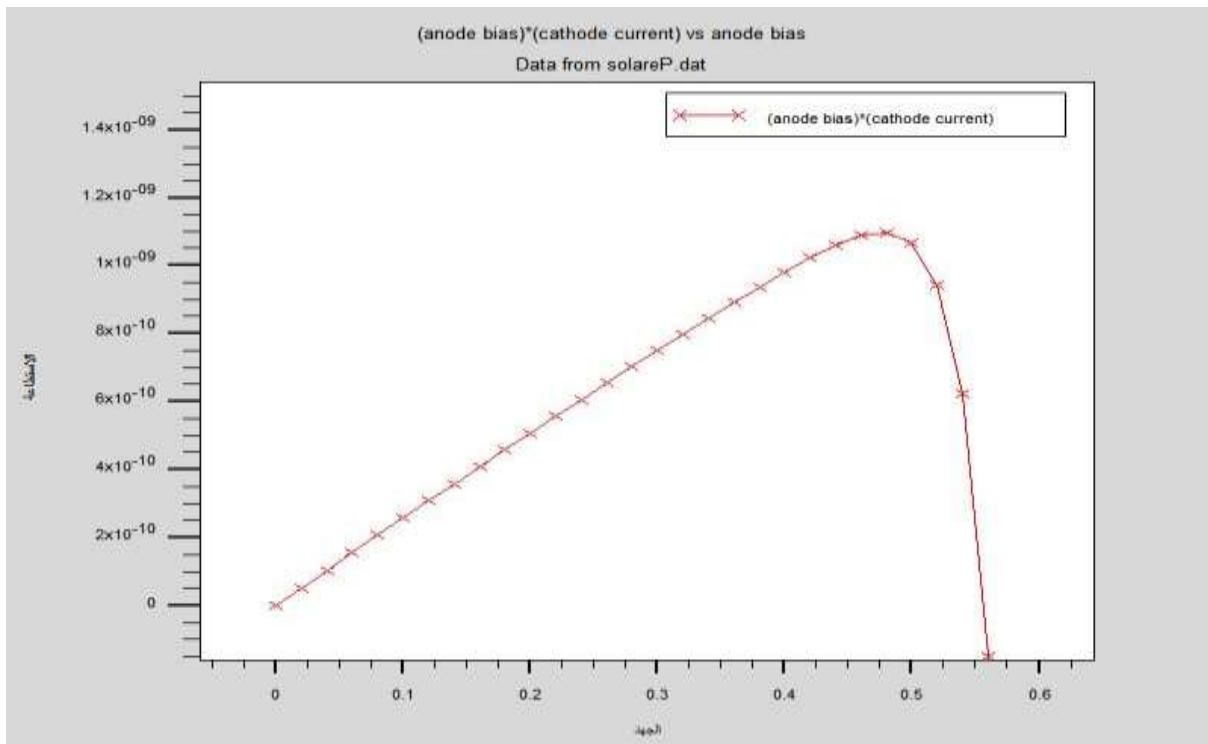
-نقوم بتسليط شدة الاضاءة (1 w/cm^2) فتحصل عل النتائج التالية :

جدول (6-3) يوضح قيم المقادير المميزة

| | |
|-------------------------------|-------|
| V_{oc} (v) | 0.55 |
| I_{sc} (mA/cm^2) | 25.94 |
| V_m (v) | 0.48 |
| I_m (mA/cm^2) | 18.93 |
| P_m (mW/cm^2) | 10.97 |
| FF (%) | 76.07 |
| η (%) | 2.19 |



الشكل (9-3) منحنى المميز IV المتحصل عليه من المحاكاة



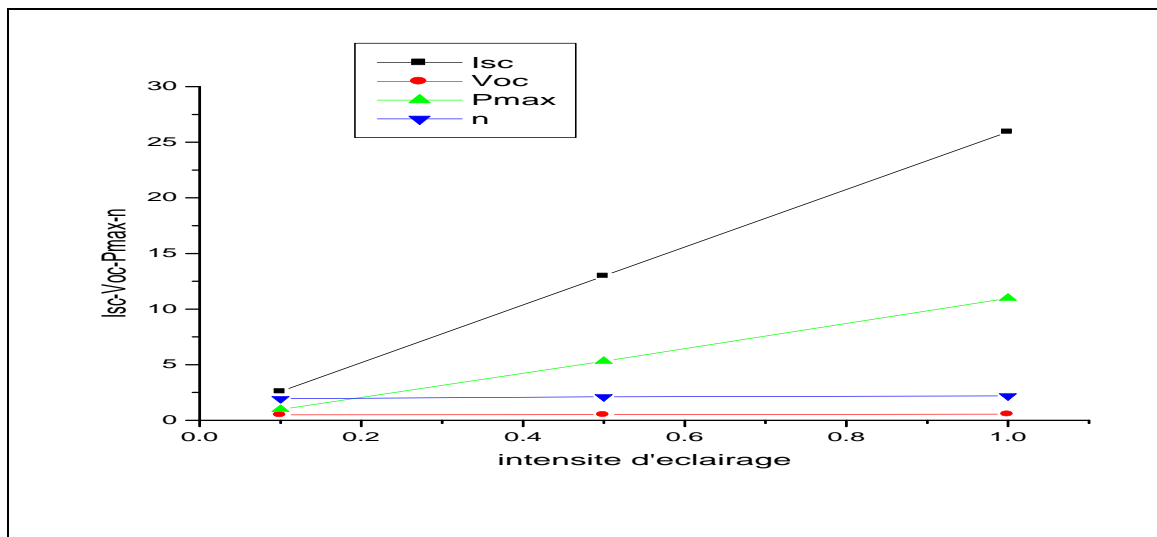
الشكل (10-3) منحنى المميز PV المتحصل عليه من المحاكاة

نلاحظ أن المنحنى تيار- جهد الشكل (3-8) له نفس سلوك منحنى المحصل عليه من العمل التجريبي الموضح في الشكل (3-3)، ومنحنى الاستطاعة الشكل (3-9) له نفس سلوك المنحنى المحصل عليه من العمل التجريبي الموضح في الشكل (3-4)

3-2 دراسة تأثير شدة الإضاءة بالمحاكاة :

الجدول (3-6) يوضح تغيرات المقادير المميزة بتغير شدة الإضاءة

| شدة الإضاءة (W/cm ²) | 0.1 | 0.5 | 1 |
|--|------|-------|-------|
| تيار دارة القصيرة (mA/cm ²) | 2.59 | 12.97 | 25.94 |
| جهد الدارة المفتوحة (V) | 0.49 | 0.51 | 0.55 |
| الاستطاعة الاعظمية (mW/cm ²) | 0.97 | 5.31 | 10.97 |
| الكفاءة (η%) | 1.95 | 2.12 | 2.19 |



الشكل (3-11) تغيرات تيار دارة القصيرة جهد الدارة المفتوحة والإستطاعة الأعظمية والكفاءة بدلالة شدة

الإضاءة

نلاحظ عند زيادة شدة الإضاءة يزداد كل من تيار الدارة القصيرة Isc والاستطاعة الاعظمية

Pmax بشكل ملحوظ بينما نلاحظ زيادة طفيفة في كل من كفاءة وجهد الدارة المفتوحة.

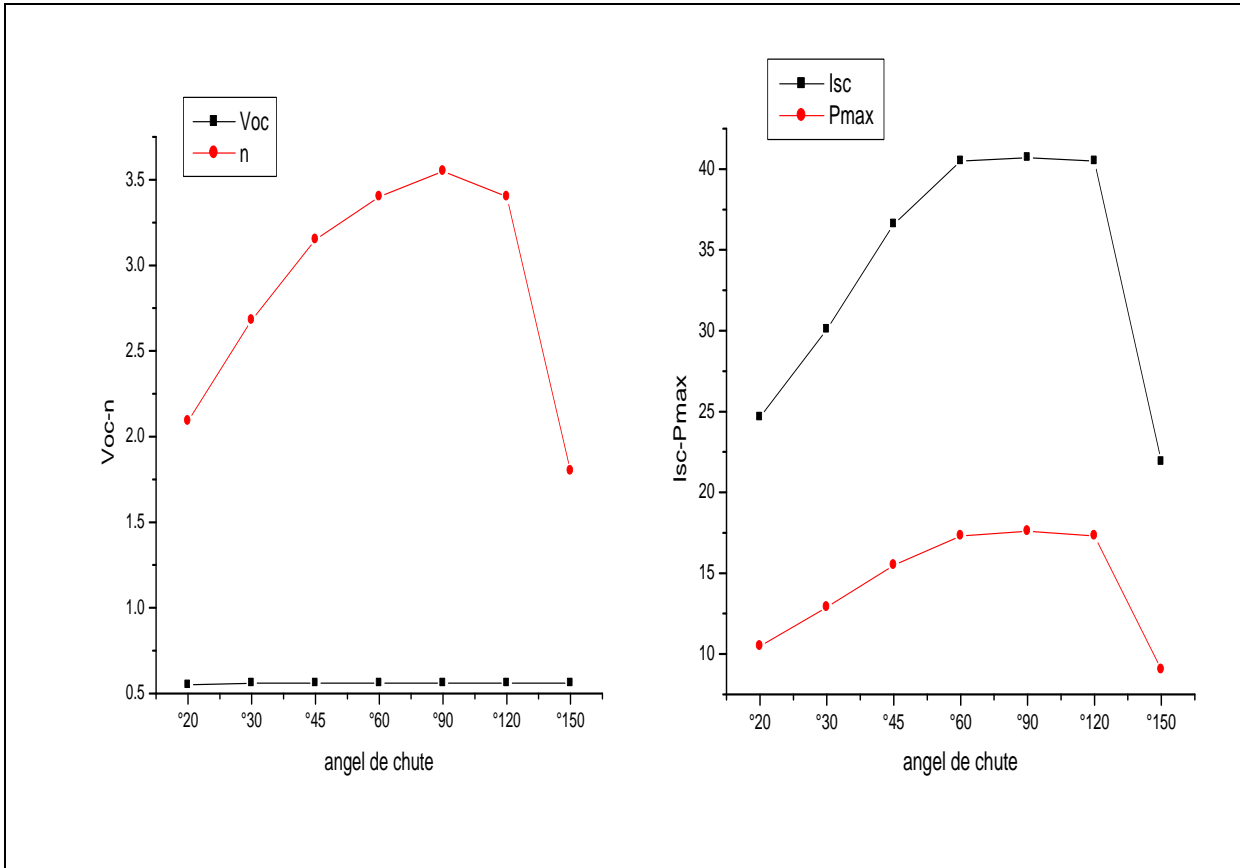
نستنتج أن تيار الدارة القصيرة و الإستطاعة الأعظمية تتناسب طرديا مع شدة الإضاءة. أما جهد الدارة

المفتوحة والكفاءة فهي أقل تأثر بشدة الإضاءة.

3-3 دراسة تأثير زاوية السقوط الضوء بالمحاكاة:

جدول (3-7): تغيرات المقادير المميزة بدلالة زاوية السقوط الضوء

| زاوية السقوط | 20° | 30° | 45° | 60° | 90° | 120° | 150° |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Isc | 24.64 | 30.08 | 36.60 | 40.50 | 40.70 | 40.50 | 21.90 |
| Voc | 0.55 | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| Pmax | 10.49 | 12.90 | 15.49 | 17.30 | 17.6 | 17.30 | 9.03 |
| η | 2.09 | 2.68 | 3.15 | 3.40 | 3.55 | 3.40 | 1.80 |



الشكل (3-12) منحنى يوضح تغيرات شدة التيار و الإستطاعة الأعظمية والجهد والكفاءة بدلالة زاوية

السقوط الضوء

نلاحظ أن زاوية سقوط الضوء تؤثر على تيار الدارة القصيرة و الإستطاعة الأعظمية والكفاءة حيث

نلاحظ أن في المجال [60°-120°] تعطي أحسن قيم لكل من تيار دارة القصيرة والإستطاعة

والكفاءة وتكون أعظمية عند الدرجة [90°]. كما نلاحظ أن جهد الدارة المفتوحة يبقى ثابت القيمة أي أنه

لا يتأثر بزاوية السقوط .

الخلاصة:

تطرقنا في هذا الفصل إلى إستخراج مجموعة من النتائج بالمحاكاة باستعمال البرنامج سلفاكو. تحصلنا على المنحني المميز التيار- جهد ومنحني الإستطاعة لخلية شمسية السليكونية. كان شكل المنحنيات يتوافق مع شكل المنحني النظري و شكل المنحني المتحصل عليه تجريبيا. كما تمكنا من الحصول على نتائج ترتبط بتأثير شدة الإضاءة وزاوية السقوط الإشعاع الشمسي على الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية ولاحظنا أن هناك علاقة طردية بين شدة الإضاءة والخصائص الكهربائية، كما لاحظنا أن أفضل زوايا للسقوط الضوء محصورة بين $[60^{\circ}-120^{\circ}]$ وتكون أعظمية عند $[90^{\circ}]$.

الخاتمة العامة

الطاقة الشمسية من أهم الطاقات المتجددة النظيفة التي تصل إلى سطح الأرض عن طريق الأشعة الشمسية، والتي يمكن تحويلها إلى طاقة كهربائية من خلال التحويل الكهروضوئي (بواسطة الخلايا الشمسية) (الشمسية)

تتمثل الإستخدامات الرئيسية للإشعاع الشمسي أو ما يعرف بالطاقة الشمسية في توليد الحرارة و الطاقة الكهربائية بالإضافة إلى بعض الإستخدامات الأخرى، ومن بين التقنيات الأساسية المتقدمة في مجال الطاقة الشمسية هي الخلايا الشمسية والتي تقوم بتحويل أشعة الشمس إلى طاقة كهربائية بصورة مباشرة و التي تتكون من مواد شبة موصلة متنوعة، أهمها مادة السليكون، ولا تحتوي على أجزاء متحركة ، و تعمل عن طريق إستخدام المادة شبه الموصلة لتحويل أشعة الشمس، أي الضوء الذي تمتصه تلك المادة إلى كهرباء بصورة مباشرة بواسطة الفعل الكهروضوئي والتي يمكن الإستفادة منها في تشغيل نظم الإتصالات المختلفة وفي إنارة الطرق و المنشآت و في ضخ المياه و غيرها.

في هذه المذكرة قمنا بإجراء دراسة تجريبية لخلية شمسية تحصلنا من خلالها على مجموعة من النتائج كالمنحنى المميز تيار-جهد للخلية و كذلك منحنى الاستطاعة كما حددنا خصائص الخلية المدروسة تجريبيا و تحديد المقاومتين التسلسلية و التفرعية لها. قمنا أيضا بدراسة بالمحاكاة العددية بواسطة برنامج سيلفاكو أطلس لخلية شمسية ذات طبقات رقيقة وهذا من أجل استخراج الخصائص الكهربائية والمنحنيات المميزة.

تمكنا من استعمال البرنامج وتحديد بنية الخلية ثم تحصلنا على المنحنى المميز تيار-جهد و منحنى الاستطاعة كانت أشكال المنحنيات التجريبية و النظرية و المتحصل عليها بالحاكاة متشابهة. تمكنا من ايجاد مميزات الخلية و دراسة تأثير شدة الاشعاع و زاوية الورود على مردود الخلية و مميزاتاها. ولاحظنا ان الخلية تعطي افضل تيار قصر دارة عند الزاوية [90°] .

أفاق وتوصيات :

يمكن إجراء دراسات أكثر تعمقا على هذا النوع من الخلايا الشمسية من حيث تأثير الطول الموجي وكذا نوعية المادة أو تركيز التطعيم. سمحت لنا هذه الدراسة من استغلال البرنامج في المحاكاة على المستوى النانو تكنولوجيا مما يمكننا من إجراء دراسات تتعلق بإنشاء خلايا شمسية أخرى أو أجهزة نانوية أخرى كالترانزستورات و غيرها تتكون من طبقات رقيقة

قائمة المراجع

- [1]- مروى سعادوي، الاشعاع الشمسي كمصدر اساسي للطاقة البديلة ومختلف تطبيقاته العملية، مذكرة ماستر 2020 / 2021، جامعة قاصدي مرباح ورقلة -الجزائر
- [2]- ميموني ايمان، مساهمة في دراسة الطبقات الرقيقة للخلايا الشمسية المترسبة بتقنية PECVD، مذكرة ماستر 2015/2016 جامعة قاصدي مرباح ورقلة -الجزائر
- [3]- محمد فؤاد كاظم، الخلايا الشمسية المحفزة بصبغة، بحث لنيل شهادة بكالوريوس في كيمياء 2019، كلية العلوم في جامعة القادسية دولة العراق
- [4]- بن كبحول خالد، محاكاة وصلة شوتكي لثنائية من اوكسيد الغاليوم (Ga_2O_3)، مذكرة ماستر 2020 / 2021 جامعة محمد خيضر بسكرة -الجزائر
- [5]- موسي اميرة و فرادي عتاب ، دراسة خلية شمسية متحسسة بالنفاط الكمية ، مذكرة ماستر 2020/2021 جامعة محمد لخضر بسكرة
- [6]- الدكتور بومعراف (boumaraf)، مدخل لمحاكاة خلية شمسية في الظلام وفي الضوء 2019/2020 . جامعة بسكرة
- [11]- بن بادة خولة ، دراسة بالمحاكاة لانتشار الفسفور في الجرمانيوم ،مذكرة ماستر 2018/2020 ،كلية علوم المادة جامعة ورقلة
- [7] Melouki Dilmi ، etude des performances de la cellule InGaP/GaAs/Ge par simulation·mémoire de master 2016 ، univercity de msila
- [8] LABo MANUAL،SILVACO-ATLAS-DEVICE simulation software .Centre for Detector & Related Software Technology، (CDRST) .Department of Physics & Astrophysics، University of Delhi.
- [9] Benbouta Abdelkader Habib Mahfoud et M'silti Taher. Etude par TCAD-Silvaco d'une structure n-on-p dans le cadre du projet ATLAS du CERN. Mémoire de Projet de Fin d'Études 2015/2016 ،university de blida

-[10] Mohammedi Mohamed, «etude et simulation de cellules photovoltaïques a contacts arrieresinterdigites sous environnement silvaco», ladiplomde magister2012, Université Abou-Bakr Blekaid Tlemcen

[16] G. Masson, M. Latour, M. Rekinge, I. T. Theologitis and M. Papoutsis, « Global Market Outlook for photovoltaics », Technical report, EPIA, 2013.

مواقع الالكترونية

[12] <https://ar.m.wikipedia.org/wiki> 8 mai 2022 10 :00

[13] https://ar.m.wikipedia.org/wiki/%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D9%81%D9%88%D8%AA%D9%88%D9%86 8 mai 2022 19 :23 pm

-[14] <https://youtu.be/AyQAQqxbu6Y> 9 mai 2022 11 :09

-[15] <https://youtu.be/Oy5VL77zUiw> 10 mai 2022 12 :36

المخلص

الخلايا الشمسية أو الفولطية هي عناصر تقوم بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية. نهتم في هذه الدراسة باستخراج المنحنيات المميزة لتيار-جهد والاستطاعة وكذا خصائص الكهربية للخلية المدروسة و تحديد المقاومة التسلسلية و التفرعية لها تجريبيا. ثم عن طريق المحاكاة بواسطة برنامج سيلفاكو اطلس. كان شكل المنحنيات المتحصل عليها يتوافق مع شكل المنحني النظري والتجريبي. قمنا كذلك بدراسة تأثير شدة الاضاءة وزاوية السقوط الإشعاع الشمسي على الخصائص الكهربية للخلية الشمسية. ولاحظنا ان هناك علاقة طردية بين شدة الاضاءة والخصائص الكهربية. كما لاحظنا ان افضل زاوية للسقوط الأشعاع الشمسي هي $[90^{\circ}]$

الكلمات المفتاحية: خلية شمسية - سيلفاكو اطلس - المنحني المميز - شدة الإشعاع - زاوية السقوط

Les cellules solaires ou voltaïques sont des composants qui convertissent l'énergie solaire en énergie électrique. Dans cette étude, nous nous intéressons à extraire les courbes caractéristiques courant-tension et puissance, ainsi que les propriétés électriques de la cellule étudiée, et à déterminer expérimentalement la résistance série et parallèle de celle-ci. Puis par simulation par le programme Silvaco Atlas L'allure des courbes obtenues était cohérente avec l'allure de la courbe théorique et expérimentale. Nous avons également étudié l'effet de l'intensité de l'éclairage et de l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur les propriétés électriques de la cellule solaire. Nous avons constaté qu'il existe une relation directe entre l'intensité de l'éclairage et les propriétés électriques. Nous avons également constaté que le meilleur l'angle d'incidence du rayonnement solaire est de $[90^{\circ}]$.

Solar cells or voltaic are components that convert solar energy into electrical energy. In this study, we are interested in extracting the characteristic curves of current-voltage and power, as well as the electrical properties of the studied cell, and determining the series and parallel resistance of it experimentally. Then by simulation by Silvaco Atlas program. The shape of the obtained curves was consistent with the shape of the theoretical and experimental curve. We also studied the effect of the intensity of lighting and the angle of incidence of solar radiation on the electrical properties of the solar cell. We noted that there is a direct relationship between the intensity of lighting and electrical properties. We also noted that the best angle of incidence of solar radiation is $[90^{\circ}]$.

Key words: solar cell, Silvaco Atlas, characteristic curve, radiation intensity, angle of incidence