بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية الدراسات العليا

قسم الفيزياء

بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير

بعنوان :

دراسة مقارنة بين الخلايا الشمسية النانوية والشمسية السيليكونية

A comparative Study between the Nano-Solar and Silicon Cells

إعداد الطالب :

المقداد علي محمد عبد الرحيم

إشراف :

د. أحمد الحسن الفكي

1442هـ - 2020م

الإستهلال

﴿ وَقَضَىٰ رَبُّكَ أَلَّا تَعْبُدُوا إِلَّا إِيَّاهُ وَبِالْوَالِدَيْنِ إِحْسَانًا ۚ إِمَّا يَبْلُغَنَّ عِندَكَ الْكِبَرَ أَحَدُهُمَا أَوْ كِلَاهُمَا فَلَا تَقُل لَّهُمَا أُفٍّ وَلَا تَنْهَرْهُمَا وَقُل لَّهُمَا قَوْلًا كَرِيمًا (23)

سورة الاسراء الآية رقم (23)

الإهداء

إلى روح والدي الطاهرة التى فاضت إلى بارئها

وإلى أمي التى غمرني حنانها وأحتضني كنفها بارك الله في عمرها

إلى من أنساني هموم الحياة ... زوجتي

إلى زينة الحياة ومصدر السعادة ... أولادي

إلى من شدّ من أزري ... أخواني و أخوأتي

إلى كل من كافح من أجل تعليمي حتى تحقق ما يصبو إليه

إلى كل من علمني حرفاً عبر مراحل التعليم المختلفة

وإلى كل رفقائي و زملائي الأفاضل

،،،أُهدي ثمرة جهدي ،،،

الباحث

شكر و تقدير

أولاً الشكر لله –عز وجل- من قبل ومن بعد على نعمه وفضائله التي لا تحصى ولا تعد , ولا يسعني إلا أن أقول : ﴿وَقَالَ رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ﴾

(النمل : 19) .

الشكر لإدارة جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا وأخص بالشكر كلية الدراسات العليا بجامعة السوادن للعلوم والتكنولجيا وهيئة تدريسها الكريمة .

وأود أن أعبر عن إمتناني وشكري العميق للأستاذ **الدكتور احمد الحسن الفكي** لقبوله مهمة الإشراف على هذا

البحث وعلى توجيهاته و ملاحظاته القيمة التي أمدني بها خلال فترة إعداد هذا البحث .

أتقدم بالشكر و التقدير ألى كل من كان له الفضل فى إخراج هذا البحث في هذه الصورة و لو بالفكر أو المشورة .

و أخيراً أوجه شكري إلى **أساتذتي أعضاء لجنة المناقشة** لما بذلوه من وقتهم الثمين و لما سيضيفونه إلى هذا البحث من ثراء علمهم , و أصالة فكرهم , وتزويدي بالملاحظات القيمة التي سيكون لها بإذن الله الأثر المفيد في وصول هذا البحث إلى غاية طيبة .

الباحث

المستخلص

تناولت الدارسة الخلايا الشمسية النانوية ، وهي الأكثر حداثة والتى يعول عليها العالم فى الحصول على وحدات من الخلايا الشمسية العالية الكفاءة .وهدفت الدراسة لزيادة كفاءة الخلايا الشمسية ورفع أدائها لكي ترتقى إلى مستوى المنافسة مع مصادر الطاقة الأخرى الموظفة في توليد الكهرباء, بالإضافة لخفض التكلفة الصناعية الخاصة بإنتاج الخلايا الشمسية.

تمثلت مشكلة الدارسة فى إمكانية إستغلال تقنيات الطاقة الشمسية ومدى نجاحها في إنتاج الطاقة الكهربائية بتكلفة زهيدة وتركيب سهل وكفاءة عالية.من أجل تحقيق أهداف الدراسة تم استخدام منهج التحليل الوصفي (الطريقة النظرية) بتجميع المعلومات حول المشكلة البحثية من خلال ما هو متوفر من معلومات فى المراجع والكتب والمجلات و بعض مواقع الإنترنت المتخصصة.

وقد خلص الباحث إلى أن الخلايا الشمسية النانوية ذات كفاءة أعلى من الخلايا الشمسية الإعتيادية (السيليكونية) ،و ذلك نظراً لتفردها بمزايا تقنية و اقتصادية متعددة، منها زيادة كفاءتها على إمتصاص موجات مختلفة من الضوء . وهذا ما يميزها عن غيرها من الخلايا الإعتيادية، ذات القدرة المنخفضة على إمتصاص نسبة عالية من فوتونات الطيف الشمسي، مما يجعلها تفقد كم هائل من تلك الفوتونات الضوئية وعدم الإستفادة منها فى عملية تحويل الضوء إلى كهرباء.

الباحث

ABSTRACT

The study tackled the Nano solar cells , which is the most modern and that the world relies on for obtaining units of high efficient solar cells.

The study aimed to increasing the efficiency of the solar cells and raising their performance in order to raise the level of competition with the other energy sources using in generating electricity, beside to reducing the industrial cost related to producing solar cells.

The problem of the study is represented in the possibility of exploiting the solar energy technologies and how it succeeded in producing electric energy at low cost, easy installation and high efficiency.

In order to achieve the objectives of the study, the researcher followed the descriptive analysis method (the theoretical method) for collecting data and information of the study problem the available information from the references, books, magazines and some internet websites.

The researcher concluded to the following results : the Nano scale solar cells are more efficient than regular solar cells, as its uniqueness with multiple technical and economic advantages, to increasing their efficiency to absorb different wavelengths of light, and that is what distinguishes it from other Silicon cells, that the same low ability to absorb a high proportion of the solar spectrum photons, the matter that made them to lose a huge amount of those light photons and not benefiting of them in the process of converting light into electricity.

فهرست الموضوعات

الرقم	الموضوع	الصفحة
1	الإستهلال	أ
2	الإهداء	ب
3	الشكر و التقدير	ج
4	المستخلص بالعربى	د
5	المستخلص بالإنجليزي	هـ
6	الأشكال والصور	ح
	الفصل الأول	1
(1-1)	مقدمة البحث	2
(1-2)	مشكلة البحث	4
(1-3)	اهمية البحث	4
(1-4)	الهدف من البحث	4
(1-5)	منهجية البحث	4
(1-6)	الدراسات السابقة	5
(1-7)	محتوى البحث	7
	الفصل الثاني	8
(2-1)	تاريخ الخلايا الشمسية	9
(2-2)	الخلية الفولتية الضوئية	9
(2-3)	طريقة عمل الخلية الشمسية	11
(2-4)	كفاءة الخلايا الشمسية	12
(2-5)	الخسائر فى الكفاءة الشمسية	17
(2-6)	العوامل المؤثرة على كفاءة الخلايا الشمسية	19
(2-7)	انواع الخلايا الشمسية	19
(2-8)	مكونات نظم الخلايا الشمسية	20
(2-9)	أجيال الخلايا الشمسية	23
	الفصل الثالث	26
(3-1)	مقدمة	27
(3-2)	جسيمات النانو	28
(3-3)	تعريف النانو تكنولوجي	29

(3-4)	إنتاج المواد النانوية	31
(3-5)	تقانة الأغشية الرقيقة	33
(3-6)	الخلايا النانوية	34
(3-7)	الخلايا الشمسية الصبغية	34
(3-8)	خلايا النقاط الكمومية	36
(3−9)	كفاءة تحويل طاقة الخلية الشمسية	37
(3−10)	عامل الملئ	38
	الفصل الرابع	39
(4-1)	المناقشة	40
(4-2)	النتائج	40
(4-3)	التوصيات	**42**
(4-4)	المراجع	**43**

الأشكال والصور

الرقم	الموضوع	الصفحة
(2-1)	diode وصلة ثنائية (دايود:	**10**
(2-2)	وصلة ثنائية قابلة على تمرير التيار في اتجاه واحد	**11**
(2-3)	فكرة عمل الخلية الشمسية	**12**
(2-4)	علاقة تيار الخلية وجهدها مع القيم I_{SC} ,V_{OC}, I_{mp} ,V_{mp}	**16**
(2-5)	العلاقة بين الجهد والتيار للخلية الفوتوفلتية	**16**
(2-6)	منظم الشحن وعلاقته بنظام الخلايا الشمسية	**20**
(2-7)	البطاريات لخزن الطاقة الكهربائية واستخدامها في حال عدم وجود شمس	**22**
(2-8)	عاكس يستخدم لتحويل التيار المستمر إلى تيار متردد	**23**
(3-1)	ميكروسكوب القوة الذرية	**32**
(3-2)	(STMالميكروسكوب الماسح)النفقي	**32**
(3-3)	خلايا شمسية صبغية	**36**
(3-4)	تعريف عامل الملئ	**38**

الفصل الأول

الإطار العام للدراسة

(1-1) المقدمة :

الطاقة الشمسية بالإنجليزية (Solar Energy): هي أحد مصادر الطاقة المتجددة وأكثرها وِفرةَ في العالم، وهي عبارة عن إشعاع شمسي يمكن الاستفادة منه في عدّة أمور أهمها: إنتاج تفاعلات كيميائية، وإنتاج الحرارة وتوليد الكهرباء، إضافةً لأنَّ الطاقة الشمسية منتشرة في جميع أنحاء العالم، فإنها تعتبر مصدراً نظيفاً لا يسبب تلوث، بالتالي إذا تم استغلاله والاستفادة منه بشكلٍ مناسب، فإنه سيُلبي نسبة كبيرة من حاجات العالم من الطاقة في المستقبل.

يمكن الاستفادة من أشعة الشمس وتجميعها لتحويلها إلى شكلٍ آخر من أشكال الطاقة، مثل: الطاقة الكهربائية، وذلك باستخدام التكنولوجيا والتقنيات الحديثة، بالتالي فإنَّ إقامة مشاريع لتوليد الطاقة الشمسية يعتمد على كمية الأشعة الشمسية التي تسقط على منطقة معينة لتحديد إمكانات الطاقة الشمسية فيها، وقد وُجد أنَّ كمية الأشعة الواصلة لمنطقة معينة تختلف باختلاف موقع المنطقة الجغرافي، ومناخها العام، وطول اليوم لهذه المنطقة (1).

لتوليد طاقة شمسية وتحويلها إلى شكل يمكن الاستفادة منه ينبغي توفر بعض التقنيات التي تعمل على جمع الفوتونات الناتجة من الإشعاع الشمسي والعمل على تحويلها إلى كهرباء أو حرارة ومن هذه التقنيات :

تكنولوجيا النانو والتي تكون قادرة على زيادة فعالية الخلايا الشمسية, لكن التطبيق الأكثر وعوداً لتكنولوجيا النانو هو تخفيض تكلفة التصنيع. حيث إكتشف الكيميائيون في جامعة كاليفورنيا , طريقة لإنتاج خلايا شمسية بلاستيكية رخيصة والتي يمكن أن تُطلى تقريباً على سطح ، الفعاليات التي تحققها هذه الخلايا الشمسية البلاستيكية الجديدة هي فقط حوالي 1.7 %,تستفيد هذه الخلايا الشمسية البلاستيكية الجديدة من قضبان نانوية دقيقة tiny nanorods مشتتة داخل بوليمير,تتصرف القضبان النانوية كأسلاك لأنها عندما تمتص ضوء بطول موجي محدد تقوم بتوليد إلكترونات, تتدفق هذه الإلكترونات عبر قضبان النانو حتى تصل إلى إلكترود من الألومنيوم حيث تجتمع لتشكل تيار و تستخدم ككهرباء, هذا النوع من الخلايا ذو تكلفة تصنيعية أقل من الخلايا التقليدية لسببين رئيسين; الأول, أن هذه الخلايا البلاستيكية ليست مصنوعة من السيليكون, والذي يمكن أن يكون غالي الثمن.

ثانياً , تصنيع هذه الخلايا لا يتطلب معدات غالية الثمن كغرف نظيفة و حجرات تخلية كالخلايا الشمسية السيليكونية التقليدية .

هناك ميزة أخرى ممكنة لهذه الخلايا الشمسية هي أن قضبان النانو يمكن أن تولف أو تُضبط لتمتص أطوال موجية متنوعة من الضوء، وهذا يمكن أن يزيد بشكل ملحوظ كفاءة الخلية الشمسية لأنه يمكن أن يُستفاد بشكل أكبر من الضوء الساقط . .

و من أبرز الإنجازات العلمية الرائدة في مجال تطبيقات المواد النانومترية في الطاقة الشمسية تمكن فريق من الباحثين بجامعة إيلينوي الأميريكية بالإشتراك مع باحثين من المملكة العربية السعودية , من تطوير خلايا شمسية كفؤة , حيث تم وضع غشاء رقيق جداً من جزيئات نانوية سيليكونية بحجم واحد نانومتر مباشرة في الخلايا الشمسية السيليكونية, وجد أنه يزيد من كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية بمقدار 60% عند عمل الخلية في نطاق الأشعة فوق البنفسجية من الطيف الشمسي.

كما أمكن تحسين الإنتاجية في نطاق الضوء المرئي للطيف بنسبة 10%, بإستخدام جسيمات نانوية بحجم 2 نانومتر. ويقول أحد العلماء المتخصصين في هذا المجال, أن الضوء فوق البنفسجي في الخلايا الشمسية العادية يتم ترشيحه (فلترته) أو إمتصاصه من خلايا السيليكون و تحويله إلى طاقة حرارية –قد تكون مدمرة– وليس إلى طاقة كهربائية, و أضاف بأنه للحصول على الخلايا الشمسية المطورة, قام الباحثون بتحويل كتلة من السيليكون إلى جسمات نانوية وذلك من خلال تقنية تم تطويرها بشكل خاص, و تسطع هذه الجسيمات النانوية بشكل فلوروسنتي نتيجة حجمها النانوي المتناهي في الصغر .

وبعد ذلك قام الباحثون بأخذ الجسيمات النانوية ذات الحجم المطلوب و غمرها في الكحول الأيزو بروبيلي من أجل تشتيتها ثم توزيعها على سطح الخلية الشمسية, وعند تبخر الكحول الأيزوبروبيلي, يترك غشاء رقيقا جدا من جسيمات نانوية متراصة بشكل دقيق و مرتبطة بشدة بالخلية الشمسية. وقد أظهرت نتائج الدراسة أن الخلايا الشمسية المغلفة بغشاء رقيق من جزيئات بحجم واحد نانومتر, تُظهر فيها الجزيئات المشعة باللون الازرق تعزيزاً للطاقة بمقدار 60% من المدى فوق البنفسجي من الطيف , واقل بنسبة 3% من المدى المرئي.النتائج التي توصلت إليها هذه الدراسة كانت بفضل تحسين في زيادة فرق الجهد الكهربائي (الفولتية) , وليس في شدة التيار الكهربائي, وتشير نتائج هذه الدراسة إلى الدور الكبير لغشاء الجسيمات النانوية السليكونية في نقل الشحنة, و التعديل من خلال التداخل والتفاعل مع الجسيمات النانوية. ويعتبر هذا الإنجاز العلمي نقلة نوعية في مجال إستغلال التقانة النانوية في مجال الطاقة الشمسية, إذ إن عملية تغليف الخلايا الشمسية بجسيمات نانوية سيليكونية , سيمكن إستخدامه بسهولة في مجال الصناعة وبتكلفة قليلة (1) .

(1-2) مشكلة البحث :

تكمن مشكلة البحث في دراسة إمكانية إستغلال تقنيات الطاقة الشمسية ومدى نجاحها في إنتاج الطاقة الكهربائية بتكلفة زهيدة وتركيب سهل وكفاءة عالية مما يمثل مساهمة في الجهود المبذولة من أجل محاربة غلاء الطاقة الكهربية.

(1-3) أهمية البحث :

تأتي أهمية الطاقة الشمسية من إعتبارها أهم مصادر الطاقة المتجددة خلال القرن الحالي, لأن الطاقة التقليدية (الأحفورية) مهددة بالنضوب, وكذلك بما خلفته من آثار على البيئة من تلوث وإرتفاع في درجة حرارة الأرض وتغيرات مناخية كارثية.

الطاقة الشمسية هي البديل المناسب الذي سيغير العالم وهي متوفرة بصورة واسعة على العالم, حيث يستخدم السيلكون في توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية, والخلايا النانوية هي واحدة من أنواع الخلايا الشمسية التي تستخدم في الآونة الأخيرة لأن تكلفة صناعتها بسيطة جدا مقارنة بالخلايا السيليكونية إضافة إلى وفرة مكوناتها وسهولة تحريكها ونقلها وهذه الخلايا تمثل مجالاً جديداً للبحث.

(1-4) الهدف من البحث :

يهدف البحث إلى دراسة الخلايا الشمسية النانوية (خلايا الجيل الثالث) ومقارنة كفاءتها مع كفاءة الخلايا الشمسية السيليكونية (خلايا الجيل الأول) بغرض زيادة كفاءة الخلايا الشمسية ورفع أدائها لكي ترتقى إلى مستوى المنافسة مع مصادر الطاقة الأخرى الموظفة في توليد الكهرباء, بالإضافة لخفض التكلفة الصناعية الخاصة بإنتاج الخلايا الشمسية,و لكي تجمع وحدة الخلية الشمسية بين مزايا الكفاءة العالية في تحويل الطاقة والتكلفة الإقتصادية المناسبة.

(1-5) منهجية البحث :

الطريقة التي أتبعت في هذا البحث هي الطريقة النظرية.

(6-1) الدراسات السابقة:

أجريت العديد من البحوث في مجال الطاقة المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية والإستفادة منها من خلال الخلايا الشمسية وجزء منها تناول الخلايا النانوية وما يميزها عن خلايا السيليكون, إلا أن معظمها يدعو إلى إيجاد طرق لرفع كفاءة الخلايا النانوية و التي تعد رخيصة جدا مقارنة مع الخلايا السيليكونية واسعة الإنتشار والإستعمال في الوقت الحالي .

منها على سبيل المثال البحث العلمى المميز. **لعام 2013 عن استخدام النانو فى "الطاقة الشمسية**

حيث حصل ناجح علام، مدرس ا لفيزياء بالجامعة الأمريكية بالقاهرة، على جائزة أفضل بحث علمي منشور لعام 2013 من المركز القومي للبحوث، لبحثه المبتكر حول إمكانية استخدام تكنولوجيا النانو لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء، وبالأخص لإنتاج مواد تحل محل استخدام مادة السيليكون الباهظة الثمن في بعض الصناعات المستدامة.

ويقول علام "مُنحت هذه الجائزة للجهد الذي بذله فريقي في اكتشاف وتصميم مواد متفاعلة للضوء، ومنخفضة التكلفة، ومتوازنة للغاية، من العناصر التي تتوافر بكثرة على كوكب الأرض وذلك لاستخدامها في تحويل الطاقة الشمسية".

يوضح علام أن المشكلة تكمن في نقص المواد المتوافرة والمنخفضة التكلفة اللازمة لإحلال السيليكون، وهي المادة الأكثر استخداماً في صناعة الألواح الشمسية.

ويقول، "تكمن المشكلة الأساسية في استخدام السيليكون أنه لازال مكلفا وصعب التصنيع. كما أن معظم المواد المماثلة للسيليكون ستنضب في خلال السنوات القادمة".

ومنها " خلايا شمسية باستخدام تقنية النانوتكنولوجي 60% ريادة فى الطاقة ": تمكن فريق من الباحثين السعوديين بقيادة العالم الفيزيائي الأمريكي الفلسطيني الأصل منير نايفة من تطوير خلايا شمسية باستخدام تقنية النانوتكنولوجي، واكتشف الفريق الذي شارك فيه باحثون من جامعة ألينوي الأمريكية أنه عند وضع غشاء رقيق للغاية من دقائق السيليكون المجهرية في داخل الخلايا الشمسية السيليكونية، تزداد الطاقة التحويلية لتلك الخلايا بشكل كبير تزيد عن 60% على نطاق الأشعة فوق البنفسجية وبنسبة تصل إلى 10% على نطاق الضوء المرئي.

ويوضح الدكتور نايفة أهمية إنجازهم بقوله إن مثل هذا الغشاء الرقيق جدا يتميز بجودة عالية، ويتكون من السيليكون عالي النقاء، وبسمك يصل إلى واحد نانومتر (النانومتر يساوي واحد من مليار من المتر)، وقد بينت التجارب التي أجريت مدى التطور في قدرة تلك الخلايا على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، ويضيف الدكتور نايفة انه في الخلايا الشمسية التقليدية يتم تبديد جزء من الطاقة الشمسية الساقطة على الخلايا الكهروضوئية على شكل طاقة حرارية لا يتم الاستفادة منها.

هذه الخلايا الجديدة والمتطورة للغاية والتي تستخدم فيها تقنية النانو، يتم إنتاجها عبر عدد من المراحل، ففي البداية يتم الحصول على دقائق السيليكون النقية، ثم تحول إلى جزيئات نانوية صغيرة جدا، وتغمر في الكحول الأيزوبروبيلي من أجل توزيعها وتفريقها بشكل متجانس، ثم يتم وضعها على سطح الخلية الشمسية، وبعد تبخر الكحول الأيزوبروبيلي، يبقى على سطح الخلايا غشاء رقيق جدا من جزيئات السيليكون النانوية المتراصة بشكل دقيق.

هذا الإنجاز العلمي سوف يسهم وبشكل فاعل في دعم الجهود الدولية لإنتاج الطاقة من مصادر بديلة ومتجددة، كما سيسهم – إلى حد ما – في تقليل مشكلة الاحتباس الحراري العالمية والتي أصبحت تهدد مصير واستقرار الإنسانية على كوكب الأرض، من جانب آخر فإن هذا الإنجاز يعتبر نقلة نوعية في مجال استغلال الطاقة الشمسية نظرا لزيادة كفاءة الخلايا الشمسية المستخدمة حاليا وقلة التكاليف المادية التي يجب إنفاقها لتحسين الخلايا الشمسية التقليدية المستخدمة حاليا (1).

(7-1) محتوى البحث :

يحتوى هذا البحث على أربعة فصول, الفصل الأول وهو المقدمة ومشكلة البحث...الخ ,ويحتوى الفصل الثاني على الخلايا الشمسية ...الخ , ويحتوى الفصل الثالث على الخلايا الشمسية النانوية ...الخ , أما الفصل الرابع يحتوى على المناقشة والنتائج والتوصيات.

الفصل الثانـي

الخلايا الشمسية

(2-1) تاريخ الخلايا الشمسية :

لقد تم التعرف لأول مرة على تأثير الضوئية في عام 1839 من قبل الفيزيائي الفرنسي بيكريل. ومع ذلك فقد تم بناء أول خلية ضوئية عام 1883 من قبل شارلز فريتز، الذي قام بتغليف- السيلينيوم أشباه الموصلات- بطبقة رقيقة جدا من الذهب لتشكيل التقاطعات. وكانت كفاءة الجهاز حوالي 1٪ فقط. وفي عام 1888 بنى الروسي الفيزيائي الكسندرستوليتوف أول خلية كهروضوئية على أساس تأثير الكهروضوئي الخارجي الذي اكتشفه هاينريش هيرتز في وقت سابق من عام 1887. وقد وضح ألبرت آينشتاين التأثير الكهروضوئي في عام 1905 وقد حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1921. وقد حصل روسل أوهل على براءة اختراع لأشباه الموصلات في تقاطع الخلايا الشمسية الحديثة في عام 1946، الذي تم اكتشافه في الوقت الذي تمت فيه سلسلة من التطورات التي عنيت بالترانزستور (2).

(2-2) الخلية الفولتية الضوئية :

التي تعرف بالخلايا الشمسية أوالخلايا الفولتضوئية (photovoltaic cells) من خلالها يتم تحويل أشعة الشمس مباشرة إلى كهرباء، عن طريق استخدام أشباه الموصلات مثل السليكون الذي يستخرج من الرمل النقي (1).

إن الخلايا الكهروضوئية هو مجال التكنولوجيا والبحوث المتعلقة بالتطبيق العملي في إنتاج الكهرباء من الضوء، لكن وعلى الرغم من ذلك غالبا ما يستعمل على وجه التحديد بالإشارة إلى توليد الكهرباء من ضوء الشمس. توصف الخلايا بالخلايا الضوئية وإن لم يكن مصدر الضوء هو الشمس ومثال ذلك (ضوء المصباح، الضوء الاصطناعي، وغيرها..). وتستخدم الخلايا الكهروضوئية للكشف عن ضوء أو غيره من الإشعاع الكهرومغناطيسي بالقرب من مجموعة ضوئية مرئية، كالكشف عن الأشعة تحت الحمراء، أو قياس شدة الضوء.

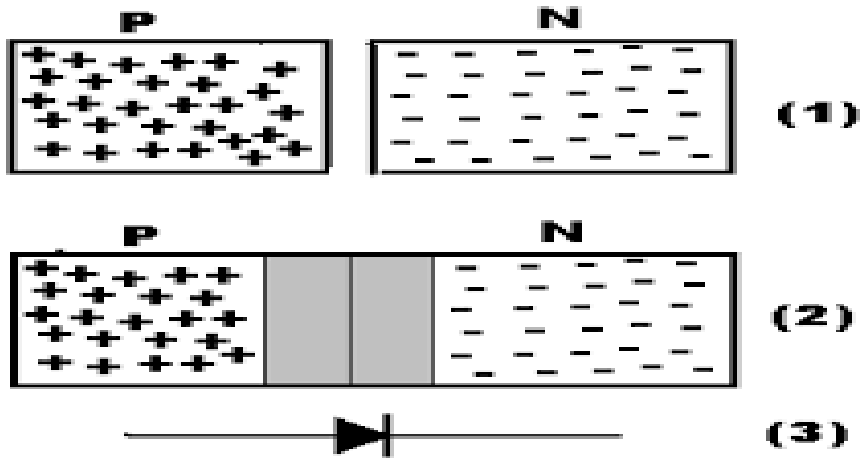
في بداية الخمسينات تم تطوير شرائح السيليكون و وضعها بأشكال وأبعاد هندسية معينة قادرة علي تحويل الطاقة الشمسية إلي طاقة كهربائية. تتكون الخلية الفولتية (او الشمسية) من وصلة ثنائية (دايود _ diode) كما في الشكل (2-1) من أشباه الموصلات والذي ينتج طاقة كهربائية عند سقوط الاشعاع الشمسي علي سطحه ونفاذها خلال منطقة الاتصال(p_n junction) ،عموما الدايود هو صمام اليكتروني له إلكترودان هما :

انود (Anode) :

هو الالكترود الموجب الذي تغادره الاكترونات في الدايود .

كاثود (Cathode) :

هو الالكترود السالب الذي يكون المصدر الأولى للإكترونات في الدايود .



الشكل (1-2) وصلة ثنائية (دايود : Diode)

تعرف منطقة الإتصال (p_n junction) بأنها المنطقة المكونة من تلاقي مادتين شبه موصلتين إحداهما من النصف p والأخرى من النصف n , وتميز بخلوها من حاملات الشحنة (الإلكترونات والفجوات) و بظهور جهد خلالهما يعرف (بجهد الحاجز). يصنع الدايود من بلورة من السيليكون او الجرمانيوم مطعمة بطريقة معينة بحيث تتميز فيها منطقتين هما :

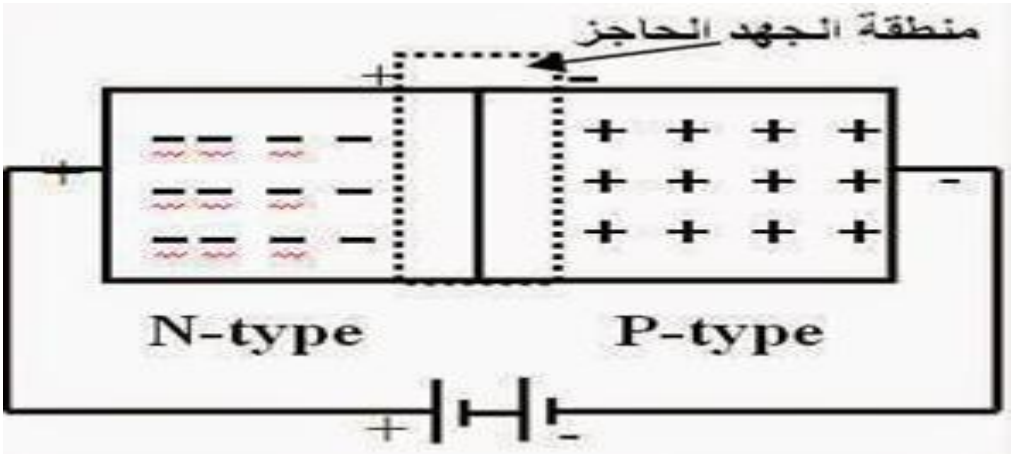
منطقة سالبة (n) :

تحتوى على ذرات شبه الموصل النقي و ذرات شائبة خماسية التكافؤ (مثل الفوسفور) والتي تمنح الإلكترونات.

منطقة موجبة (P) :

تحتوى على ذرات شبه الموصل النقي وذرات الشائبة ثلاثية التكافؤ (مثل البورون) والتي تقبل الإلكترونات .

عند تكون الوصلة الثنائية تنجذب الإلكترونات من المنطقة السالبة نحو منطقة الاتصال وتعبرها الي المنطقة الموجبة ونتيجة لذلك تصبح ذرات المنطقة السالبة (أيونات موجبة) وذرات المنطقة الموجبة (أيونات سالبة) ويستمر ذلك حتى يصبح فرق الجهد بين المنطقة السالبة و المنطقة الموجبة قيمة معينة , وعندما يتم انتقال مزيدا من الإلكترونات من المنطقة السالبة إلى المنطقة الموجبة , تتصف الوصلة الثنائية بقابليتها على مرور التيار في اتجاه واحد كما في الشكل (2-2) ادناه (3).



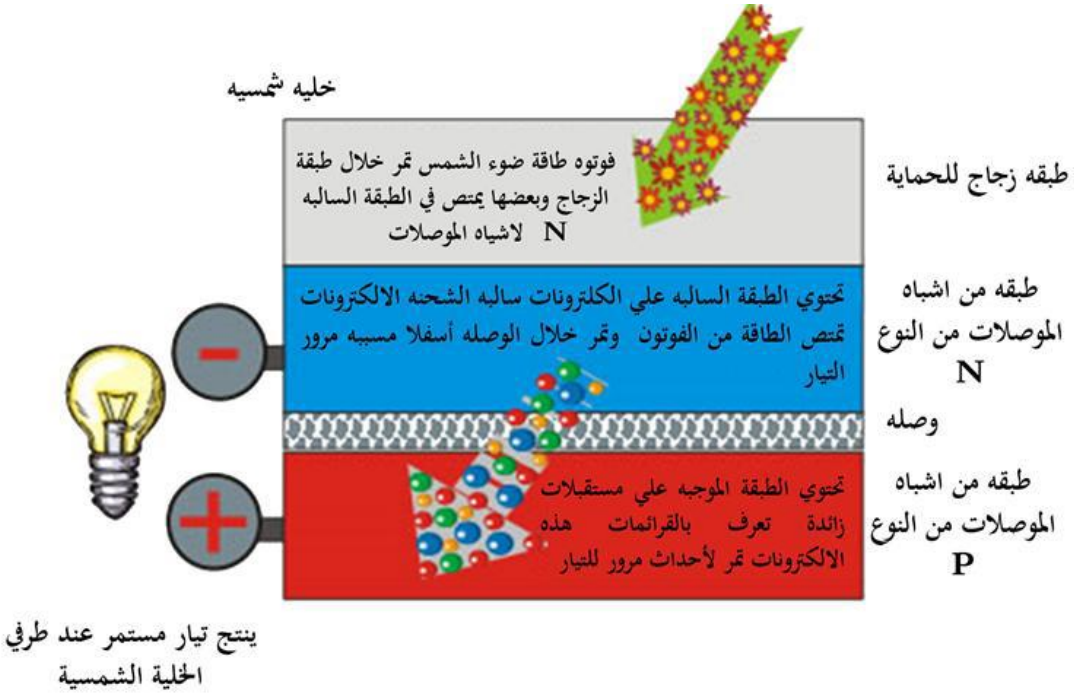
الشكل (2-2) وصلة ثنائية قابلة على مرور التيار فى اتجاه واحد

(2-3) طريقة عمل الخلية الشمسية :

عند تعرض الخلية الشمسية للإشعاع الشمسي فإن الإلكترونات الحرة تمص الفوتونات المكونة للإشعاع الشمسي، أى أن الطاقة المنبعثة من الشمس تصطدم بسطح الخلية في شكل فوتون (الفوتون عبارة عن طاقة في صورة ضوء وإشعاع كهرومغناطيسى وليس لها شحنة و لا كتلة) وإذا كانت طاقة الفوتون كافية فإنها تعمل على تحفيز الإلكترونات في الخلية الشمسية مما يولد جهداً كافياً لدفع هذه الالكترونات في دوائر الحمل ، أى أن عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر هذا الضوء خلال سطح الخلية و يمتص جزء بواسطة الطبقة الأولى للخلية وهي طبقة السيليكون و المحتوية على الفوسفور (اى

النوع N) اما غالبية الضوء الساقط على هذه الخلية فبقوم بإمتصاصه الجزء الخاص بذلك أى طبقة السيليكون المحتوية البورون (أى النوع P) .

خلال هذه العملية تتكون الكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل المتصل في اطراف الخلية, بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية تزداد حركة الإلكترونات, وبالتالى يتشكل تيار كهربي مستمر (DC). وعند توصيل حمل كهربي بين طرفي الخلية الشمسية يتم الإستفادة من حركة الإلكترونات الناتجة من سقوط ضوء الشمس على الخلية (2) . يوضح شكل (3-2) فكرة عمل الخلية الشمسية (الفوتوفلتية)



شكل (3-2) فكرة عمل الخلية الشمسية (الفوتوفلتية)

(2-4) كفاءة الخلايا الشمسية:

هنالك ثلاثة متغيرات تستخدم لدراسة الخلية الشمسية من النوع p-n وهي تغير المعالم الرئيسية لخرج الخلية الشمسية (4):

(1-4-2) تيار الدائرة المغلقة (تيار دائرة القصر) (I_{sc}) :

هو التيار المار فى الخلية الشمسية إلى دائرة خارجية بدون حمل (او بدون مقاومة) , هو أقصى تيار تستطيع خلية شمسية انتاجه من الإشعاع الشمسى. او هو تيار الدائرة المغلقة (I_{sc}) الذي يمر عبر الوصلة تحت تأثير الاستضاءة عندما يكون جهد التحييد مساوياً للصفر . ويكون الجهد الاعلى لتيار الدائرة القصيرة المتولد من مادة الخلية الشمسية مرتبطاً بفيض الفوتونات الساقطة و التي تمتلك طاقة اكبر من طاقة الفجوة المحظورة للمادة والتي تستطيع ان تولد زوج (الكترون _فجوة) ويمكن حساب هذه الطاقة بدلالة الطول الموجي للفوتونات الساقطة علي خلية سيليكونية بمعلومية النطاق المحظور للسيليكون 1.24 الكترون فولت حسب العلاقة الأتية :

$$V_{(ev)} = \frac{1.24}{\gamma} \quad \text{.....(2-1)}$$

ونجد انه كلما قل عرض الفجوة المحظورة فان كثافة تيار الدائرة القصيرة تذداد و ذلك لأن كثير من الفوتونات الساقطة تمتلك طاقة كافية لانتاج زوج (اكترون _ فجوة)عندما تكون الفجوة المحظورة اقل بكثير من طاقتها.

عند سقوط الضوء على المفرق الثنائي المكون للخلية الشمسية يكون التيار حسب المعادلة:

$$I = I_o (e^{BV} _ 1) _ I_{ph} \quad \text{.....(2-2)}$$

حيث :

$$B = \frac{q}{AKT}$$

لايجاد تيار الدائرة القصيرة I_{sc} نوجد التيار عند V= 0 :

$$I = I_0 (e^0 - 1) - I_{ph}$$

$$I_{sc} = - I_{ph} \quad \text{.....(2-3)}$$

(2-4-2) فولتية الدائرة المفتوحة :

هو الفولت الذى تعطيه الخلية الشمسية عندما لايمر تيار فى الدائرة , وهو أقصى فولت تعطيه خلية شمسية وهو الجهد خلال الدايود.

يمكن حساب فولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} لخلية شمسية من نوع p-n من العلاقة :

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \text{Ln}(\frac{Iph}{I0} + 1) \quad \text{.....(2-4)}$$

حيث :

I_{ph} هو التيار المتولد ضوئياً.

I_0 هو تيار الاشباع الثنائي.

وللحصول على اعلى قيمة ل V_{oc} بحيث يكون I_0 اصغر ما يمكن وان التقدير المقبول لأدنى كثافة لتيار الاشباع I_0 كدالة للفجوة المحظورة هو:

$$I_0 = 1.5 \times 10^5 \exp(-\frac{E}{KT}) \text{ A/CM} \quad \text{.....(2-5)}$$

هذه العلاقة تبيين ان أعلى قيمة للفولتية V_{OC} تتناقص مع تناقص الفجوة المحظورة وان هذا الاتجاه هو عكس حالة تيار الدائرة القصيرة I_{SC} ومن هنا يتبين ان هنالك فجوة محظورة مثلى للحصول على اعلى قيمة للكفاءة.

(2-4-3) عامل الملء :

يعرف هذا العامل وفق المعادلة الأتية :

$$FF = \frac{Vm\ Im}{Voc\ Isc} \quad \text{.....} \quad \text{.....(2-6)}$$

ويعتبر عامل الملء مقياس لمدى مرجعية خصائص الخرج وقيمته بالنسبة للخلايا ذات الكفاءة المعقولة تكون بين 0.7_ 0.85 .

حساب V_{max} و I_{max} :

لحساب الجهد عند أعلى قيمة قدرة V_{max} والتيار عند أعلى قدرة I_{max} فاننا نبدأ من معادلة القدرة :

$$P = IV = VI_0(e^{BN} \quad _ 1) \quad _ VI_{Ph} \ldots\ldots\ldots(2-7)$$

$$\frac{dP}{dV} = I + V\frac{dI}{dV} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-8)$$

$$V_{max}+\frac{AKT}{q}\ln\left(1+\frac{qVmax}{AKT}\right) = \frac{AKT}{q}\ln\left(1+\frac{Iph}{I0}\right) \ldots\ldots\ldots (2-9)$$

$$V_{max}+\frac{AKT}{q}\ln\left(1+\frac{qVmax}{AKT}\right) = V_{OC} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2-10)$$

لايجاد I_{max} نفاضل بالنسبة ل I :

$$\frac{dP}{dI} = \frac{dVI}{dI} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-11)$$

$$V\frac{dI}{dI} + I\frac{dV}{dI} = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-12)$$

ولكن :

$$I = I_0\,(e^{BV} - 1) - Iph$$

$$I_{max} = -\frac{Vmax\ I0\ q}{AKT}\ e^{\frac{qVmax}{AKT}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2-13)$$

وبتعويض قيم V_m , I_m من (2-13) و (2-10) حيث ان :

$I_{mp} = I_{max}$ و $V_{mp} = V_{max}$ فان عامل الملء فى المعادلة (2-6) يصبح :

$$FF = \frac{Vov-In}{Voc+1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2-14)$$

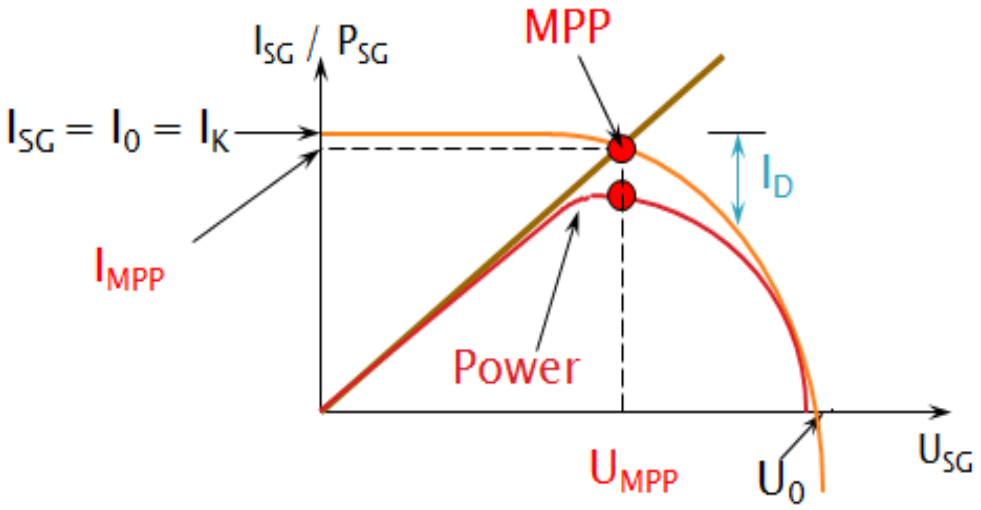
اما في الخلايا المثالية فيكون FF دالة لفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} فقط وفق المعادلة التجريبية الأتية :

$$FF = \frac{Voc - \ln(Voc + 0.72)}{Voc + 1} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2-15)$$

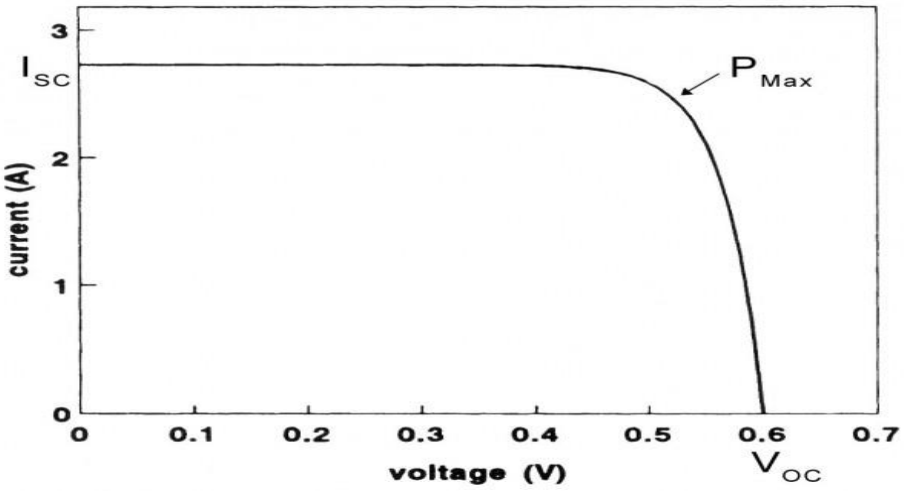
ويمكن بمعرفة المتغيرات الثلاثة معرفة كفاءة الخلايا الشمسية حيث يمكن التعبير عن كفاءة الطاقة μ بالصيغة :

$$\mu = \frac{Vmp\ Imp}{Pin} = \frac{Voc\ Isc\ FF}{Pin}$$

ولإيجاد قيم I_{sc} ، V_{oc} ، I_{mp} ، V_{mp} تؤخذ قراءات عديدة لتيارات وجهد الخلية الشمسية ثم يتم إيجاد هذه القيم وجهد الخلية الشمسية من الشكل (2-15) أدناه :



شكل (2-4) علاقة تيار الخلية و جهدها مع القيم البيانية ل I_{sc} , V_{oc} , I_{mp} , V_m



الشكل (2-5) العلاقة بين الجهد والتيار للخلية الفوتوفلتية

(2-5) الخسائر في الكفاءة :

تكون كفاءة الخلية الحقيقية عادة اقل من الحدود المثالية المبينة نظرياً ويعود ذلك إلى خسائر مختلفة ومن المهم معرفة هذه الخسائر للعمل على تطوير كفاءة الخلايا الشمسية بخفض الخسائر الناتجة من الآليات التي توضح في الفقرات القادمة (5) :

(2-5-1) الخسائر في تيار الدائرة القصيرة:

توجد ثلاثة انواع من الخسائر في الخلايا الشمسية والتي يمكن ان يقال بأنها ناتجة من الخاصية البصرية للمادة وهي :

1- الإنعكاس من سطح السيليكون لقسم كبير من الضوء الساقط على الخلية وعند طلاءه بغشاء غير عاكس (Antirflection) تقل نسبة الخسارة بمقدار 10%.
2- أن ضرورة عمل الأقطاب المعدنية لكل من جانبي نوع N ونوع P ينتج شبكة معدنية على سطح الخلية المعرض للضوء وهذا التركيب المعدني يمنع 5 إلى 15% من الضوء الساقط من الدخول إلى الخلية.
3- اذا كان سمك الخلية غير كاف فإن بعض فوتونات الضوء التي تمتلك طاقة معينة لا تتفاعل مع المادة وتستطيع النفاذ مباشر الى الخارج وهذا يحدد اقل سمك مطلوب من مادة شبه الموصل لصناعة الخلية.

(2-5-2) الخسائر في فولتية الدائرة المفتوحة :

ان العملية الاساسية التي تحدد قيم V_{OC} هي عملية الاتحاد في شبه الموصل فإن ادنى قيمة لإعادة الاتحاد في شبه الموصل يعني أعلى فولتية في الدائرة المفتوحة V_{OC} وان عمليتي إعادة الاتحاد داخل المادة وسطحها تكونان مهمتين.

حيث نجد أن اهم انواع إعادة الاتحاد لفولتية الدائرة المفتوحة هو إعادة الاتحاد خلال مستويات القبض في منطقة الاستنزاف ويكون هذا النوع من إعادة الاتحاد فعال في مثل هذه المناطق.

(3-5-2) الخسائر في عامل الملء:

إن عملية إعادة الاتحاد من منطقة الاستنزاف تقلل ايضاً من قيمة عامل الملء. كما ان الخلايا الشمسية عامة تمتلك مقاومة متوالية ذاتية وآخرى متوازية مترابطة معها فهنالك عدة آليات مسئولة عن هذه المقاومات والمصادر الرئسية للمقاومة المتوالية R_S وهي المقاومة الذاتية لشبه الموصل المصنوعة منه الخلية ومقاومة الموصلات المعدنية والتوصيلات الكهربائية البينية و كذلك مقاومة الوصل بين المعدن وشبه الموصل ، أما المقاومة المتوازية فتحدث نتيجة تسرب التيار خلال مفرق p_n حول حافة الخلية و كذلك مناطق داخلية آخرى ، وذلك بسبب العيوب البلورية او وجود شوائب غير مرغوبة في منطقة المفرق فكلا المقاومتين الذاتيتين تقللان من قيمة عامل الملء كذلك قيمة R_S العالية جداً وقيمة R_{Sh} المنخفضة جداً تقللان تيار الدائرة القصيرة I_{sh} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{OC}.

ومن الممكن إيجاد تأثير كل من R_{sh} و R_S على عامل الملء بمقارنة قيمتهما مع المقاومة المميزة للخلية الشمسية والتي تعرف بالمعادلة الأتية :

$$R_{CH} = \frac{Voc}{Isc} \quad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2-16)$$

وعندما يكون R_s أقل بقليل من المقدار و R_{sh} اكثر بقليل منه يكون هنالك تأثير قليل لكل R_{sh} , R_s على عامل الملء و بتعريف المقاومة الميارية r_s ب R_s/R_{sH} يكون عامل الملء بوجود المقاومة المتوالية :

$$FF = FF_0(1 - r_s).....(2-17)$$

وبتعريف المقاومة المتوازية المعيارية التي تساوي R_s/ R_{sH} فهنالك علاقة مماثلة لتأثير المقاومة والتي تتضمن ايضاً الفولتية المعيارية :

$$FF = FF_0 \left(1 - \frac{Voc+0.7}{Voc} \frac{FF0}{rs}\right) \dots\dots\dots\dots.. (2-18)$$

حيث :V_{oc} تمثل الفولتية المعيارية .

(2-6) العوامل المؤثرة على كفاءة الخلايا الشمسية :

(2-6-1) تأثير التظليل:

ان تظليل الخلايا الشمسية يجعل الخلية سيئة التوصيل الكهربائى حيث تقلل من قدرة الخلية، وقد الي يؤدى تلفها ، ويظهر التأثير الأكبر للتظليل عند توصيل الخلايا الشمسية على التوالى ، فإذا ما أثر على خلية واحد فإن ذلك يقوم بتقليل الطاقة الكهربائية الكلية المنتجة.

وهنالك انواع معينة من الأنماط الفوتوفلتية تقاوم تأثير التظليل عن طريق إستخدام صمام ثنائى مجزىء للتيار بين الخلايا Bypass Diode فهو يقوم بعمل مسار بديل للتيار الكهربائي يهمل الخلية المظللة وبالتالى يقلل من الفقد في الطاقة الكهربائية .

(2-6-2) تأثير الحرارة :

كلما ارتفعت درجة الحرارة قلت قدرة التيار الكهربائي، فارتفاع درجة الحرارة يقلل الفولت بقيمة 0.04 إلى 0.10 فولت لكل درجة مئوية وتقل القدرة النهائية بحوالى 5%_4 .

لذلك فإنه يجب ترك مسافة من 10_15 cm خلف الخلية لتقوم بعمل تهوية جيدة.

(2-6-3) تأثير المقاومة :

فعادة يكون الفولت الخاص بالبطارية فى أدنى مستوى له عند فروغ شحنتها, فتقوم الخلية بشحنها بتار منخفض و ما أن يكتمل الشحن تقوم البطارية بسحب فولت أعلى من الخلية وهذه الزيادة فى الفولت تكون أعلى من النقطة القصوى للخلية ممايؤدى إلى انخفاض التيار وبالتالى القدرة المنتجة، لذلك يجب اختيار الخلية بحيث تكون متوافقة مع أحمال وطريقة التخزين (6).

(2-7)أنواع الخلايا الشمسية:

اولاً : خلية تصنع من السليكون أحادي التبلر (Mono crystalline) :وهو عبارة عن خلايا قُطعت من بلورة سيليكون مفردة وكفاءة هذا النوع من الخلايا من 11 إلى 16% مما يعني أن امتصاص الخلايا من الإشعاع القادم من الشمس الذي تبلغ قوته 1000 وات لكل متر مربع وذلك في يوم مشمس بالقرب من خط الاستواء أي أن الواحد متر مربع من هذه الخلايا يمتص الإشعاع الشمسي بهذه الكفاءة ينتج ما بين 110 إلى 160وات.

ثانياً: خلايا عديدة التبلر (Multy crystalline) وهي عبارة عن رقائق من السليكون كُشطت من بلورات سليكون أسطوانية ثم تعالج كيميائيا في أفران لزيادة خواصها الكهربية وبعد ذلك تغطي أسطح الخلايا بمضاد الانعكاس لكي تمتص الخلايا أشعة الشمس بكفاءة عالية وكفاءة هذا النوع من 9 إلي 13%.

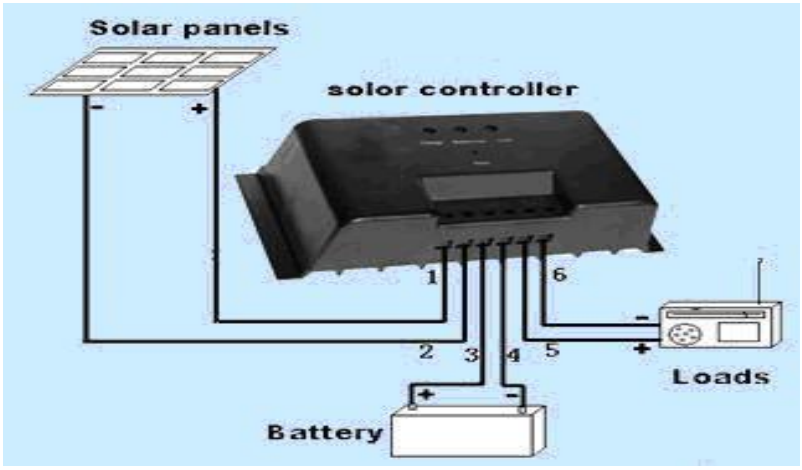
ثالثاً : الخلايا المورفية أو خلايا الفيلم الرفيع (Amorphous) وفيها مادة السيليكون تترسب على هيئة طبقات رفيعة علي أسطح من الزجاج أو البلاستيك لذلك فإن تصنيع هذه الخلايا يتم بتقنية سهلة ولكن كفاءتها أقل من 3 إلى 6% وأسعارها أيضا أقل. وهي مناسبة لتطبيقات من 40 وات إلى ما أقل (2).

(2-8) مكونات نظم الخلايا الشمسية:

(2-8-1) الألواح الشمسية :

عبارة عن خلايا شمسية مجمعة مع بعضها البعض تنتج كهرباء تيار مستمر DC يمكن أن تستخدم لتشغيل بعض المعدات أو تخزينها في بطاريات يعاد شحنها وإستخدامها أكثر من مرة وتقاس قوة تلك الخلايا بوحدة الواط، فهناك لوحات صغيرة تبدأ من 5 واط أو 15 واط حتى تصل إلي بلايين من الواطات للأبنية الكبيرة والمصانع .

(2-8-2) منظمات الشحن :



شكل (2-6) منظم الشحن وعلاقته بنظام الخلايا الشمسية

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

أ- تحتوي على قاطع داخلي (fuse) يقوم بحماية الخلية الشمسية من التلف في حالة تلامس أطرافها معا

وحدوث قصر في الدائرة (short circuit) بحيث يقوم الفيوز بالتلف ومنع الضرر الكبير من الحدوث علي الخلايا الشمسية، ويمكن إستبداله بعد ذلك والعمل مرة أخري وهو و رخيص الثمن.

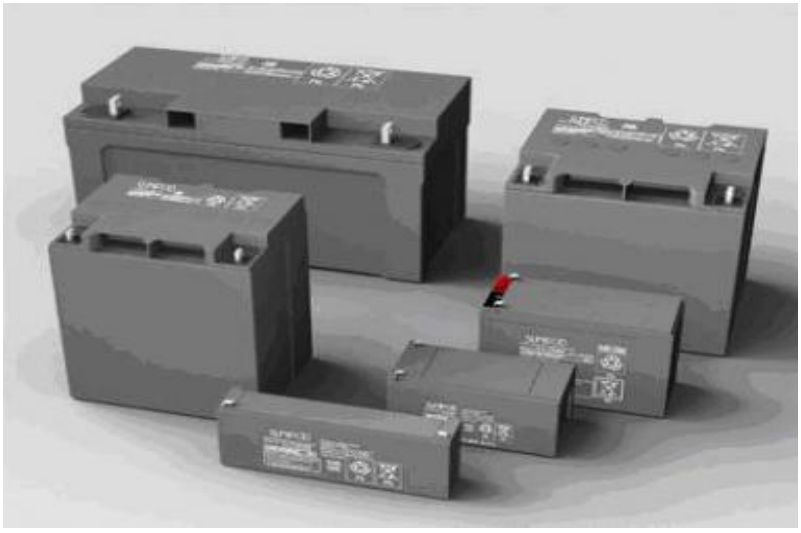
ب- تعمل على تنقية وتثبيت الفولت الخارج من الخلية الشمسية إلي الجهاز الذي يعمل على الجهد المستمر DC لأن قوة أشعة الشمس تزيد وتقل طوال نهار اليوم إما بسبب السحب أو بسبب تغير زاوية الشمس حتي تزول تماما عند الغروب.

ج- تقوم بتنظيم عملية شحن البطاريات حيث أن عملية الشحن تختلف في آليتها عن مجرد توفير مصدر للطاقة المستمرة موصل بالبطارية، حيث تكون قيمة جهد الشحن مساوي لقيمة البطارية وقيمة تيار الشحن تساوي تقريبا 15% من التيار الذي تسعه البطارية، وإذا زادت تلك النسبة بكثير فستحدث عملية شحن سريع للبطارية تؤدي إلي إضعافها وإستهلاكها بسرعة مع مرور الوقت، وإذا قلت تلك النسبة بدرجة كبيرة فسيتم شحن البطارية في وقت طويل وبشكل بطئ جدا.

د- تعمل على ضمان عدم رجوع تيار كهربي من البطارية إلي الخلية مرة أخري لأنه في حالة فصل الحمل وفي ظل عدم وجود منظم للشحن، فإن الخلايا الشمسية يمكن إعتبارها حمل يعمل على سحب التيار من البطارية إلي الخلايا بشكل عكسي مرة أخري مما يعمل على إتلافها.

(3-8-2) البطاريات :

وهي الوحدة المسئولة عن تخزين الطاقة وتفريغها عند الحاجة .



شكل (7-2) البطاريات لخزن الطاقة الكهربائية واستخدامها فى حال عدم وجود الشمس .

وبالطبع هناك العديد من أنواع البطاريات ولكن غالبية البطاريات المستخدمة مع الأنظمة الشمسية تكون من النوعية ذات الحمض والألواح الرصاصية Lead–Acid ، وغالبية البطاريات المستخدمة لهذا الغرض تكون في حدود 12 فولت أو 24 فولت. وللتعامل مع البطارية نحتاج لمعرفة متغيران على الأقل من أصل ثلاثة متغيرات هم الجهد الكهربائي ويقاس بالفولت (Volts) والتيار ويقاس بالأمبير (Amps) والقدرة وتقاس بالواط.(Watts) .

ويمكن توصيل البطاريات مثل نفس طريقة توصيل الخلايا الشمسية للحصول على قيم جهد وتيار مختلفة ,وتتم الإشارة إلي البطارية بعدد الأمبيرات في الساعة (Ah) Ampere Hours وتسمى بسعة البطارية Battery Capacity فعلي سبيل المثال إذا قرأتم البيانات على البطارية كالتالي 12 volt 19Ahفإن هذا يعني أن تلك البطارية تستطيع توفير 19 أمبير لمدة ساعة واحدة أو 1 أمبير لمدة 19 ساعة قبل الحاجة إلي إعادة شحنها مرة أخري كما يمكنك – من الناحية النظرية– أن تشحنها في ساعة واحدة إذا أعطيتها 19 أمبير أو شحنها في ساعتان إذا أعطيتها 9.5A وهكذا...

(4–8–2) العواكس:

وتأتي أهمية تلك المرحلة عند الحاجة إلي إستخدام تلك الخلايا لتوليد كهرباء عالية متغيرة تستطيع لتشغيل الأجهزة الكهربية والإلكترونية الكبيرة في المنازل أو المصانع. فهنا علينا بإستخدام أجهزة تسمي عواكس (Inverters) والتى تقوم بتحويل التيار المستمر سواء كان 12 فولت أو 24 فولت أو أي قيمة أخري إلي تيار متغير عالي (110V AC or 220V AC) لتشغيل الأجهزة التى تعمل على التيار المتغير وللأجهزة الثقيلة.

شكل (8–2) عاكس يستخدم لتحويل التيار المستمر إلي تيار متردد .

وهو آخر مرحلة وبدونه لن تكون هناك قيمة حقيقية للألواح الشمسية، وهو نفس الجهاز الذي يستخدم في السيارات لتوصيله على ولاعة السيارة لتحويل الجهد المستمر سواء كان 12 فولت أو 24 فولت إلي

جهد متغير220V AC يستطيع تشغيل أجهزة مثل التليفزيون أو ثلاجة صغيرة أو كمبيوتر شخصي داخل السيارة وتقاس قوة هذا الجهاز بالواط الذي يستطيع تحمله لتشغيل حمل ما عليه.

الأنواع : يوجد العديد والعديد من الأنواع ولكن أهمهم نوعين رئيسيين:

أ – عواكس لتشغيل الإضاءة والأجهزة الإلكترونية (modified sine wav inverters)

ب– عواكس لتشغيل أي شئ بما فيها المواتير (pure sine wave inverters)

و توجد هناك بعض العواكس التي تحتوي على شواحن داخلية بحيث يمكن توصيلها بمصدر التغذية الرئيسية (220V AC or 110V AC) وشحن البطارية دون الإنتظار إلي شحنها عن طريق الخلايا الشمسية أو لشحن بطاريات أخري إحتياطية.

كما أنها يمكن أن تقوم بعمل أجهزة الـ UPS التى تكون عبارة عن أجهزة تحتوي على بطاريات داخلية لتشغيل الأجهزة عند إنقطاع الكهرباء كمصدر تشغيل مؤقت للطوارئ.

(2-9)أجيال الخلايا الشمسية:

رجوعاً إلى تقنيات التصنيع وأنواع المواد المستخدمة فى إنتاج الخلايا الفوتوفلطية، فإنه يمكن تصنيف تلك الخلايا إلى ثلاثة أجيال هي (3):

(2-9-1)الجيل الأول:

يتم تصنيع الخلايا الفوتوفلتية من مواد اشباه الموصلات، التى تعد مادة السيليكون الأكثر شيوعاً واستخداماً نظراً لتوافر مصادرها في جميع انحاء العالم. كانت الخلايا كبيرة غير مرنة وبتكلفة تصنيع عالية ، ونتيجة ان رقائق السيليكون منخفضة الإمتصاص والاستيعاب للأشعة الشمسية ، فقد أدى ذلك زيادة سمكها عن 125 إلى 250 ميكرومتر وهي تمثل سمك كبير جداً مقارنة بالرقائق المصنعة من اشباه الموصلات الأخرى مثل زرنيخ الجاليوم و التى يكون سمكها حوالى واحد ميكرومتر.

ولذ كانت تكلفة انتاج الكهربا من منتجات خلايا الجيل الأول مرتفعة جداً ، و عمموما مازالت الخلايا الشمسية السيليكونية هي الغالبة تجارياً (حوالى 85%) لما تتصف به من الكفاءة العالية نسبياً.

(2-9-2) الجيل الثاني:

خلايا شمسية من الأفلام الرقيقة و التى تعتمد فى انتاجها على عدة أساليب من طريقة ترسيب الأبحرة الكيميائية و التي تتلخص فى تصنيع أغشية رقيقة من مواد أشباه الموصلات المترسبة على قواعد زجاجية او بلاستيكية (هذه القواعد يتم عليها ترسيب الأغشية رقيقة السمك من أشباه الموصلات لتكوين الخلية الفوتوفلطية) .

تمتاز هذه الخلايا بأنها ذات سمك رفيع لايزيد عن واحد ميكرومتر أى أن سمكها يقل عن سمك رقائق مادة السيلكون المستخدمة فى الجيل الأول بنحو يتراوح 100-1000 مرة .

نتيجة ذلك أصبحت الخلايا خفيفة الوزن ومرنة مما يميزها للإستخدام كمصدر للطاقة بالأجهزة المحمولة مثل الهواتف والحواسب المحمولة ولكن مازالت كفاءتها منخفضة و فى حدود 10% ، سبب إنخفاض الكفاءة يرجع إلى أن سمك خلايا الجيل الثاني رفيعة جداً وبالتالى لأتمتص نفس الكمية من طيف الأشعة الشمسية التي تقوم بإمتصاصها الشرائح السميكة من السيليكون (المنتجة بالجيل الأول).

من أمثلة خلايا الجيل الثاني: السيليكون اللأبلوري، سيليكون نانو بللورى، تليريد الكادميوم .

(2-9-3) الجيل الثالث:

وهو مايعرف بجيل "تكنولوجيا النانو "ومازالت منتجات هذا الجيل في مرحلة البحث والتقيم و التطوير علي المستوى التجريبي و المعملي و يتوقع ان يكون لها مدى إبداع واسع.

هي الخلايا الأكثر حداثة، والتي يعول عليها العالم في الحصول على وحدات من الخلايا الشمسية العالية الكفاءة. وتنقسم خلايا هذا الجيل إلى عدة عائلات، نذكر منها:

1- الخلايا الشمسية النانوية البلورات.

2- الخلايا الضوئية الكهركيميائية.

3- الخلايا الشمسية البلمرية المصنعة من البلمرات.

4- الخلايا الشمسية الصبغية.

5- الخلايا الشمسية المؤلفة من قوالب البلمرات المطعمة ببلورات غير عضوية. ويرى بعض العلماء أن هذا النوع من الخلايا جدير بأن يتم تصنيفه ضمن الجيل الرابع للخلايا الشمسية.تكون خلايا السيليكون البللورى هي الأكثر شيوعاً فى الأسواق والتى تمثل 90% من فوائد استخدام السيليكون فى الخلايا الشمسية .

الفصل الثالث

علم النانو

(1-3) مقدمة :

خلال السنوات القليلة الماضية بَرَزَ إلى الأضواء مصطلح جديد، وأصبح محطَّ اهتمام العالم بشكل كبير، هذا المصطلح هو «تقنية النانو (Nano technology)». ونتج عن هذه التقنية قفزة هائلة في جميع فروع العلوم والهندسة، بالإضافة إلى تطبيقات عديدة في المجالات الطبية والاقتصادية، والمعلوماتية، والإلكترونية، والحاسوبية، والبتروكيميائية، والزراعية، والحيوية، والبيئية، والعسكرية وغيرها.

يستخدم لفظ النانو كبادئة ترمز إلى الأساس عشرة مرفوعًا إلى القوة أو الأس -9. والنانومتر (ويرمز له بـ nm) هو أدق وحدة تستخدم في قياس الطول، وهو يساوي 10^9 من المتر. أما تقنية النانو فهي تطبيق لمختلف العلوم الفيزيائية، والكيميائية، والحيوية، والهندسية، والأحيائية، والطبية والصيدلية؛ وتسخيرها لتصميم وصنع أدوات ومعدات في مقياس لا يتجاوز 100 نانومتر عبر تجميع المكونات الأساسية (ذرات) للمواد؛ وحيث إن كل المواد مكونة من ذرات متراصة وفق ترتيب معين، فإن استبدال ذرة عنصر بذرة عنصر آخَر تنتج مواد أخرى مختلفة. وأحيانًا تفاجئنا تلك المواد بخصائص جديدة لم نكن نعرفها من قبل؛ الأمر الذي يؤدي إلى فتح مجالات جديدة لاستخدامها وتسخيرها لفائدة الإنسان.

يُستخدم في تقنية النانو، كغيرها من التقنيات، عددٌ من المصطلحات الخاصة منها «**علم النانو**»، وهو العلم الذي يهتم بدراسة المبادئ الأساسية والخواص التركيبية للمواد في مقياس النانو. وتعرف «**الجسيمات النانوية**» بأنها تجمُّع ذري أو جزيئي يتراوح عددها من بضع ذرات (أو جزيئات) إلى مليون ذرة، مرتبطة بعضها ببعض بشكل كروي تقريبًا، له نصف قطر أقل من 100 نانومتر. إن جسيماً نانوياً نصف قطره نانومتر واحد سوف يحتوي على 25 ذرة، أغلبها على سطح الجسيم. وتؤدي أبعاد الجسيم النانوي لحدوث ظواهر فيزيائية معينة، مثل تغيير متوسط المسار الحر الذي تقطعه الإلكترونات بين تصادُمين متتاليَين مع الذرات المهتزة، وهذا يحدد التوصيلية الكهربية. كما أن الخواص الميكانيكية للجسيمات تتغير؛ فمثلًا تعتبر جسيمات النحاس النانوية التي يصل حجمها إلى أقل من 50 نانومترًا ذات صلابة عالية وغير قابلة للطرق أو السحب، وذلك عكس ما يحدث لمادة النحاس في القياس العادي؛ حيث يمكن ثنيها وطرقها وسحبها بسهولة. وحديثًا تم تصنيع جسيمات نانوية من الفلزات والعوازل وأشباه الموصلات والتركيبات المهجَّنة (مثل الجسيمات النانوية المغلفة)، وكذلك تصنيع نماذج لجسيمات نانوية شبه صلبة، وهي الليبوسومات. كما يستخدم مصطلح «**المركَّبات النانوية**» للتعبير عن ناتج إضافة جسيمات نانوية إلى مواد عادية أخرى لتصنيع مواد جديدة، وينتج عن ذلك تحسنٌ كبيرٌ في خصائص تلك

المواد. فعلى سبيل المثال تؤدي إضافة أنابيب الكربون النانوية لمادة أخرى إلى تغيير الخصائص التوصيلية الكهربية والحرارية للمركَّبات النانوية، كما يؤدي إضافة أنواع أخرى من الجسيمات النانوية لتحسين الخصائص الضوئية وخصائص العزل الكهربي، وكذلك الخصائص الميكانيكية مثل الصلابة والقوة. وتُجرى الأبحاث حاليًا للحصول على مركَّبات نانوية جديدة ذات خصائص ومميزات تختلف عن المواد الأصلية. ومن المركَّبات النانوية المعروفة الآن المركَّبات البوليمرية النانوية.

لقد تم تصنيف المواد النانوية حسب تركيب المواد المكونة لها إلى نوعين رئيسيين؛ هما: الفولورينات (Fullerenes)، والجسيمات النانوية غير العضوية (أو الجسيمات النانوية المعدنية) (1).

في عام 1990 تم إنتاج أنابيب الكربون النانوية (Carbon Nanotube– CNT)، وذلك بتكبير الكرات النانوية (الفولورين) لتكوين أسطوانات كربونية. وبالإمكان إنتاج عدة أشكال من الأنابيب الكربونية النانوية؛ فهي إما أن تكون أنابيب كربونية أحادية الجدار (Single Wall Carbon Nanotubes – SWCNT). وبالإمكان إدخال عدة أنابيب ذات أقطار مختلفة ومتدرجة في الصغر لتكوين أنابيب الكربون النانوية المتعددة الجدران (Multi Walls Carbon Nanotubes– MWCNT)، أو إلصاق (ربط) هذه الأنابيب خارجيًا بعضها ببعض لتكوين ما يسمى بحبل الأنابيب الكربونية (Rope of nanotubes) .

وتتميز أنابيب الكربون بخاصية كمية تُدعى «نفق الإلكترون (Electron Tunneling)»، والتي تسمح للأنابيب الكربونية ببثِّ إشارات كهربائية على مستويات يستحيل أن يسري فيها التيار العادي، كما أصبحت أنابيب الكربون تتصرف كأشباه موصلات بفضل إمكانية تغيير تصميمها. ولقد استُخدمت أنابيب الكربون النانوية كأسلاك مصغرة لتوصيل المكونات المنفصلة في الحواسيب، مع العلم بأن الصفات الكهربائية الفريدة لأنابيب الكربون ليست هي الخواص الوحيدة التي يمكن الاستفادة منها؛ فهذه الأنابيب تمتاز بالقوة الشديدة والمتانة؛ فإضافتها بنسب ضئيلة يمكن أن تُحسن خواص الألياف والمواد بشكل كبير. كما تمتاز أنابيب الكربون بأنها لا تتآكل ولا تحترق في الظروف العادية، ويمكن إضافتها إلى البلاستيك لجعله موصلًا، وغيرها من التطبيقات (1).

(2–3) جسيمات النانو :

يمكن تعريف جسيمات النانو بأنها التراكيب التي تكون احد ابهادها على الأقل ضمن مدى القياس النانوى (أقل من 100 نانو متر) , من العلم بأنه لم يتم الاتفاق رسمياً على تعريف محدد لها حتى الان , ولكن التعريف أعلاه هو اكثر التعاريف قبولاً في الأوساط العلمية و الجدير بالذكر أن هنالك الكثير من

جسيمات النانو (الطبيعية والصناعية) استحوذت على اهتمام الباحثين والمتخصصين في المجالات المختلفة . وجسيمات النانو تأتي في أشكال متعددة منها:

1-النقاط الكمية .

2-الكرات النانوية .

3-انانبيب الكربون النانوية .

4-الالياف النانوية .

5-الاسلاك النانوية .

6-القشرة النانوية .

ومن الجدير بالذكر ان جسيمات النانو يمكن ان تكون طبيعة موجودة اصلاً في الطبيعة مثل جسيمات النمانو الطينية والياف السليلوس النانوية وكذلك جسيمات السيليكون ومركباته مثل nanosilicon carbde وفي أغلب الحالات يتم معالجة هذه الجسيمات لتصبح ملائمة للاختبارات العلمية والتطبيقات الصناعية .

كما يمكن الحصول علي جسيمات النانو صناعياً ومن امثلتها جسيمات النانو من الذهب nanogold والفضة nanosilver وانابيب الكربون النانوية والنقاط الكمية (7).

(3-3) تعريف النانوتكنولوجي :

تتعدد تعريفات النانوتكنولوجي حسب المجال المستخدمه فيه، ولكننا في هذا الصدد سنتناول تعريفها في مجال الطاقة وهو كالآتي:

المواد النانوية بوجه عام هى، تلك الفئة من المواد المتقدمة التي يمكننا إنتاجها بحيث تتراوح مقاييس أبعادها أو أبعاد حبيباتها الداخلية بين 1 نانومتر و100 نانومتر، وقد أدى صغر حجم ومقاييس تلك المواد إلى أن تسلك سلوكاً مغايراً للمواد التقليدية كبيرة الحجم التي تزيد أبعادها على 100 نانومتر، وأن تتوافر فيها صفات وخصال شديدة التميز لا يمكن أن توجد مجتمعه في المواد التقليدية، وتعد جزيئات النانو من أساسيات تكنولوجيا القرن، وتعد معياراً للتقدم والحضارة ومؤشراً لنهضتها.

وبعد التعرف على مفهوم تكنولوجيا النانو فإن جزء من أهميتها يقع في مجال الطاقة، وذلك لزيادة الطلب العالمى على هذا المجال، فإن هذه التقنية احتلت الصدارة عند خوضها نطاق الطاقة من حيث الكفاءة والأداء، وتأثيرها على البيئة وخاصة بعد دخولها عالم الطاقة المتجددة، فعند دخول هذه التقنية إلى الطاقة فقد ساعدت على تحديث الأجهزة المستخدمه لتحويل الطاقة المتجدده، أو المتولدة بكفاءة أكبر لما للمواد النانوية من القدرة على تغير إنتاج تلك الطاقات.

لذلك سنتناول بعض من مصادر الطاقة المتجددة التي ساعدت تلك التقنية في تحديثها وهى طاقة الشمس، وطاقة الرياح، والطاقة الهيدروجينية و سوف نتحدث عن طاقة الشمس على التفصيل التالي :

تعتبر الطاقة الشمسية هي الطاقة الناتجة من تعرض الأرض للشمس وهى الطاقة الجاهزة للجنس البشرى، وهناك العديد من الأبحاث المستمرة التي تنظم استخدامها بطريقة اقتصادية لجعلها المصدر الرئيسى للوقود. وهى تعد المصدر الأكثر كفاءة ونظافة للطاقة، وتنتج في شكل خلايا ضوئية مستخدمة على نطاق واسع في الكهرباء والمجالات ذات الصلة والعديد من التطبيقات.

ولهذا السبب، فمع بداية القرن العشرين ساد الاعتقاد بأن الأجهزة القائمة على الإلكترونيات النانوية ستمكن من تصنيع المزيد من الخلايا الشمسية، بالإضافة إلى أنه سيكون لها عظيم الأثر في مواجهة متطلبات الطاقة العالمية. ولكن السؤال الذي يفرض نفسه الآن هو كيف يتم استخدام تكنولوجيا النانو في إنتاج الطاقة الشمسية؟! يتم تطبيق تقنية النانوتكنولوجي في مجال الطاقة الشمسية عن طريق دمج جزيئات النانو في لوحات السيلكون من خلال طبقة رقيقة للخلايا الشمسية، وتستخدم في ذلك إسطوانات مجوفة . أنابيب النانو . وهى عباره عن (الفوليرينات، الفضة، وتلوريد الكادميوم، وثانى اكسيد التيتانيوم). وذلك لزيادة كفاءة الألواح الشمسية في إمتصاص موجات مختلفة من الضوء وهذا ما يميزها عن غيرها من ألواح الشمس الاعتيادية، وبمعنى أخر فإن ألواح الخلايا الشمسية المعتمدة على النانو تكنولوجي تصنع من خلال شرائح من المواد النانوية متطورة، ومطعمة بنقاط تعمل بتقنيات الفيزياء الكمومية وتسمى باختصار (نقاط الكوانتم QD)، ومن المتوقع أن يتضاعف ما تنتجه خلايا الشمس من الكهرباء، وتعتبر هذه النقاط هي مواد متناهية الصغر تأتى من الرصاص والسيلينيوم والكادميوم، أي لايتعدى قطر النقطة أجزاء من البليون من المتر(1).

(3-4) إنتاج المواد النانوية:

استخدمت عدة طرق لإنتاج المواد النانوية سنوضح طريقتين منها و هما:

(3-4-1) طريقة الطحن الميكانيكى :

تتالف هذه الطريقة من وعاء اسطوانى الشكل مصنوع من سبائك صلبة, توضع فيها الحبيبات المراد سحقها مع كرات تفوقها صلادة , وذلك بعد إفراغ الوعاء من الهواء الجوى , وحقن غاز حامل بدلاً منه , لمنع تاكسد تلك الحبيبات به. وبعدها تدار طاحونة الكرات بسرعات عالية تصل إلى 800 دورة في الدقيقة , بغية تسهيل طحن الحبيبات وتنعيمها و تصغير أبعادها لتصبح أقل من مئة نانو متر خلال فترة زمنية محددة , يتوقف مقدارها على نوع المادة المطحونة , و ابعادها النانوية المطلوبة. وقد تصل الفترة الزمنية اللازمة لإتمام عمليت الطحن الي عدة ساعات , بعدها يتم دمج و تجميع المادة الناتجة , بواسطة مكابس هيدروليكية و بمراحل عدة نحصل في النهاية على حبيبات منتظة متماسكة تناسب التطبيقات الصناعية المطلوبة.

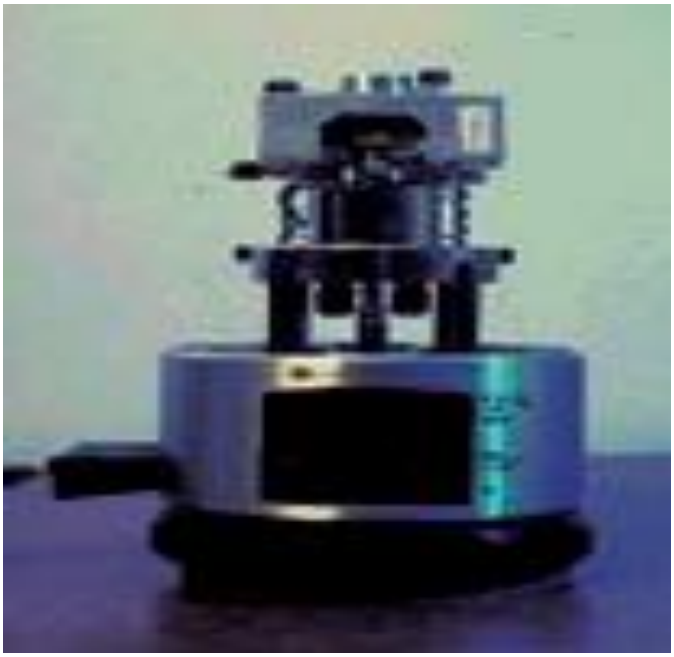
وتجد الإشارة إلى أن العلماء قد طورا هذه الطريقة منذ مطلع القرن الواحد و العشرين , لانها تنتج كميات كبيرة من المواد النانوية (8).

(3-4-2) طريقة التجميع و الترتيب:

هي تكبير الذرات والجزيئات الصغيرة بتجميعها و ترتيبها ألياً واستخدام أنواع من الميكروسكوبات الالكترونية تعمل على فحص و تحليل البنية الداخلية للمواد , وتكبيرها اكثر من مليون مرة , حتى يستطيع الباحث أن يرى الذرات و الجزيئات من خلالها , وأهم هذه الميكروسكوب الالكترونية ميكروسكوب القوة الذرية الذي حسسنته إيران مراراً كما في الشكل (3-1) و الميكرسكوب النفقي الماسح (STM) كما في الشكل (3-2) و الذي انتجته شركة IBM اليابانية, والذى طورته مراراً بحيث تستطيع إبرته الدقيقة التقاط الذرات واحدة واحدة, وإعادة ترتيبها و تجميعها بهياكل ذرية متعددة و متنوعة , تمتاز بخواص فريدة مرغوبة . ولكن يؤخذ على هذه الطريقة انها بطيئة, و أنها غير ملائمة للإنتاج الصناعي , اللذي يتطلب كميات كبيرة و بزمن صغير, لكي تقل التكلفة و تصبح السلعة منافسة فى الأسواق العالمية, لذا تم تطوير هذه الطريقة بحيث يتم تجميع الذرات ذاتياً, عن طريق مزج وتفاعل محاليل المواد النانوية

ومراقبتها والسيطرة عليها, بهدف الحصول علي جزيئات جديدة, تصمم من خلالها الهياكل النانوية المطلوبة , ولقد طور هذه الطريقة العالم العربى منير نايفه الذى يعمل بجامعة إلينوي الأمريكية, حتى أصبحت سهلة الخطوات وأسرع من غيرها, إي كثر قدرة على إنتاج مواد نانوية بكميات كبيرة وبنقاوة تصل 99%(8).

الشكل (1-3) ميكروسكوب القوة الذرية



الشكل (2-3) الميكروسكوب الماسح النفقي (STM)

(5-3) تقانة الأغشية الرقيقة :

تبوأت الخلايا الفوتوفولطية المعتمدة على تقنية الأغشية الرقيقة (Photovoltaics Thin-Films TFPV) مكانة مرموقة في عالم الخلايا الشمسية، فقد أضحى انتشارها في الأسواق واسعاً وملحوظاً (تمثل نحو 5-8% من السوق العالمي للخلايا الفوتوفولطية)، وذلك لاعتبارها مفتاح الحل في فك شفرة خفض تكلفة إنتاج وتصنيع الخلايا الشمسية في المستقبل القريب أو المتوسط الأجل.

وتتفوق تلك الخلايا الشمسية المعروفة بخلايا الجيل الثاني على خلايا الجيل الأول بقدرتها على أن تُنتج بتكلفة منخفضة، وأن يتم ترسيبها على ركائز مصنوعة من مواد رخيصة مثل الزجاج، ورقائق الفلزات، والبلاستيك.

وعلى الرغم من مجمل هذه المزايا الاقتصادية التي تتحلى بها تلك الأغشية الرقيقة؛ فإن رقة سمكها تؤدي إلى انخفاض كفاءتها في تحويل الفوتونات إلى كهرباء، وذلك للأسباب الآتية:
> الخلايا الرقيقة السمك لا تكون قادرة على امتصاص فوتونات الطيف الشمسي.

> الخلايا الرقيقة التي تُصنع عادة من السيليكون الأمورفي – السيليكون غير المتبلور، أو من السيليكون المتعدد البلورات، تحتوي في بنيتها الهيكلية على نسبة عالية من مراكز مرتفعة الكثافة، الأمر الذي يعوق من امتصاصها للفوتونات الضوئية.

ومن ثم، فإن كفاءة الخلايا الفوتوفولطية التقليدية والمصنعة من الأغشية الرقيقة ربما لا تتعدى في معظم الأحيان 10%. بيد أن تطبيقات تكنولوجيا النانو قادت في الآونة الأخيرة إلى إنتاج أجيال متقدمة من الأغشية الرقيقة المخلقة من مواد لسبائك جديدة ومركبات، مثل تيلوريد الكادميوم، مما أدى إلى طفرة حقيقية في عالم الخلايا الفوتوفولطية، وبزوغ نجم خلايا الجيل الثاني القائم على تكنولوجيا الأغشية الرقيقة النانوية السمك.

وقاد النهم البحثي في مجال تطوير صناعة الخلايا الشمسية للتوصل إلى إنتاج خلايا متغايرة الوصلات Heterojunction مؤلفة من أغشية مادتي التيلوريد الكادميوم مع كبريتيد الكادميوم، حيث وصلت كفاءة تلك الخلايا في تحويل الطاقة إلى نحو 16.5%.

ومع الإصرار والإرادة البحثية التي لاتنهزم ولا تلين، تم التوصل إلى أغشية متقدمة مصنوعة من مادة رائدة جديدة هي سبيكة نحاس إنديوم الغاليوم. وهذه المادة الجديدة التي تم دراسة خواصها وسلوكها على

مدار 20 عاماً، أظهرت سبقاً غير متوقع في قدرتها الفائقة على تحويل الطاقة، حيث بلغت كفاءتها نحو 20%. إضافة إلى ذلك، فقد أبدت خلايا المادة الجديدة – التي تعرف اختصاراً باسم CIGS – مقدرة واسعة على امتصاص نسبة كبيرة من فوتونات الطيف الشمسي الواقعة تحت مستوى الطاقة الخاص بفجوة الحزمة فاقت كل التوقعات، حيث وصلت تلك النسبة إلى أكثر من 90%، وذلك عند سمك يراوح بين 2 – 3 ميكرومترات (1).

(3-6) الخلايا النانوية :

أدى احتكار المواد النانوية لخصائص بصرية كهربائية وكيميائية فائقة وغير معتاد توافرها في المواد التقليدية الكبيرة الحبيبات؛ إلى زيادة كبير في فرص توظيفها في إنتاج جيل متقدم ومتميز من الخلايا الشمسية يُعرف باسم الجيل الثالث.

وفي الوقت الراهن، ومنذ أوائل العقد الماضي من القرن الحادي والعشرين –يعرف القرن الحالي بقرن تكنولوجيا النانو– تم تطبيق عدد من المواد النانوية في مجال تطوير الخلايا الفوتوفولطية، نذكر منها على سبيل المثال المتراكبات النانوية لأشباه الموصلات، والنقاط الكمومية – تُسمى أيضاً بالبلورات النانوية – والحبيبات النانوية، والأسلاك والأنابيب النانوية. وقد استخدمت هذه المواد النانوية الأبعاد بطرق مختلفة ترمي إلى محاولة التغلب على تكلفتها الإنتاجية العالية، وفي الوقت نفسه رفع فعاليتها وكفاءتها في تحويل الطاقة وإنتاج الكهرباء، في وظائف عدة وبأداء متباين يستهدف تعزيز الاستراتيجيات الخاصة بتحويل الطاقة (9).

(3-7) الخلايا الشمسية الصبغية :

تُعد الخلايا الشمسية الصبغية أحد أول وأهم أنواع الجيل الثالث من الخلايا الفوتوفولطية نظراً لتفردها بمزايا تقنية واقتصادية متعددة، ويُعتقد أنها ستكون البديل الموثوق به لخلايا الجيل الأول المصنوعة من رقائق السيليكون.

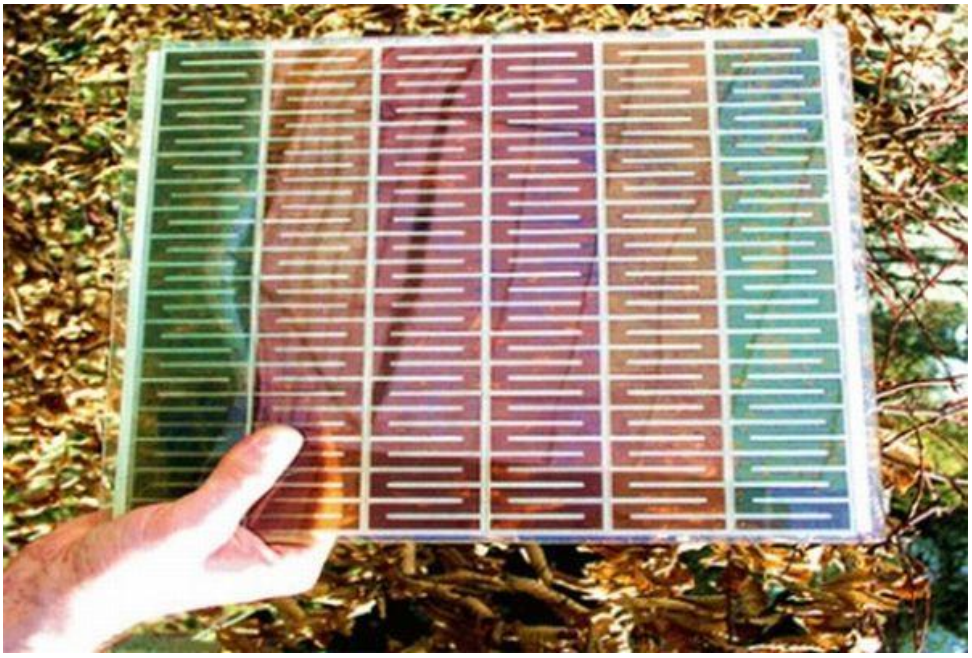
وتختلف تلك الخلايا في طريقة عملها عن الجيل الثاني من خلايا الأغشية الرقيقة في أنه يتم غمس حبيبات نانوية شفافة (غير معتمة) عالية المسامية من ثاني أكسيد التيتانيوم TiO_2 بمركب مادة عضوية – غالباً من تكون لمركب عضوي من مركبات عنصر الروثينيوم – فتترسب بذلك جزيئات الطلاء العضوي على السطوح الخارجية لحبيبات TiO_2 التي تُغمر داخل محلول إلكتروليتي يوضع في الخلية. ويتركب السطح العلوي من الخلية المواجه لأشعة الشمس من لوح زجاجي شفاف يُطلى وجهه

السفلي بطبقة شفافة موصلة للكهرباء تعقبها حبيبات TiO_2. وتنتهي الخلية بغشاء رقيق من فلز البلاتينوم يليه لوح زجاجي شفاف مطلي بطبقة شفافة موصلة للكهرباء.

وتعتمد الخلايا الشمسية الصبغية في عملها على أسلوب يشبه عملية التمثيل الضوئي في الطحالب والنباتات، حيث تصدم فوتونات الأشعة الشمسية النافذة عبر اللوح الزجاجي بجزيئات مادة الصبغة العضوية المترسبة على حبيبات TiO_2 وتمتصها، ما يعمل على إثارة إلكترونات المدارات الخارجية لجزيئات مادة المركب العضوية واكتسابها الطاقة اللازمة للانفصال عن أنويتها، فتتحرر لتخترق حبيبات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية، ثم تنتقل إلى الطبقة العلوية الموصلة للكهرباء. وكما ذكرنا فإن جزيئات مادة الصبغة العضوية الفاقدة لإلكترونها تقوم – بصورة سريعة – بتعويض هذه الإلكترونات المفقودة من مركب اليود – المحلول الإلكتروليتي الموجود بداخل الخلية – ما يؤدي إلى أكسدة هذا المركب وتحوله إلى يود ثلاثي التكافؤ، لتكتمل بذلك دائرة التوصيل الكهربائية للخلية من خلال تلك العملية الكهركيميائية.

وتتفوق هذه الخلايا على غيرها في مزية مفادها أن مصدر الفوتونات لا ينبغي بالضرورة أن يكون الأشعة الشمسية المباشرة، فنظرية عمل تلك الخلايا تعتمد في التشغيل على أي مصدر من مصادر الإضاءة. وتبذل جهود نحو الاستعاضة عن المحلول الإلكتروليتي الموجود داخل الخلية بمادة صلبة مناسبة، وذلك من أجل تفادي تمدد السائل عند درجات الحرارة المنخفضة وتعرضه للتسرب خارج الخلية.

إن كفاءة هذا النوع من الخلايا تضاعفت خلال الأعوام الماضية حتى وصلت في عام 2010 إلى نحو 11%. وحديثاً تم إنتاج خلايا مرنة من تلك الأنواع الصبغية بمساحة وصلت إلى 68.8 سم مربع وبكفاءة بلغت نسبتها 11.13%. وتم حديثاً إنتاج خلايا من هذا النوع تتمتع بمساحة هائلة بلغت نحو 7 أمتار مربعة وبكفاءة مضاعفة بلغت نحو 10%. وحفزت تلك النتائج الباهرة العديد من الشركات في ألمانيا واليابان والولايات المتحدة الأمريكية لإنتاج خلايا هذا النوع على المستوى الصناعي وتسويقها في أنحاء العالم المختلفة (9).



الشكل (3-3) خلايا شمسية صبغية

(3-8) خلايا النقاط الكمومية:

النقاط الكمومية Quantum Dots تُطلق على البلورات النانوية لمواد أشباه موصلات، مثل مركبات CdSe, CdS, CdTe, ZnS, PbS، وكذلك نستعير مسماها في تسمية الحبيبات النانوية للعناصر الفلزية الحرة، مثل الذهب والفضة والبلاتين والحديد، أو حبيبات السبائك الفلزية، مثل سبائك – Copt3 PtFe.

ويتم تحضير تلك الحبيبات أو النقاط الكمومية مختبريا على هيئة جُسيمات نانوية كُروية Nanoparticles Spherical ذات أبعاد ثلاثية (X – Y– Z) منتظمة أو شبه منتظمة، تراوح مقاييس أبعاد أقطارها بين 2 و10 نانومترات. وغني عن البيان أن تناهي صغر مقاييس أقطار تلك الحبيبات يُتيح لها أن تحصر داخل حيزها الحجمي الصغير عدداً من الذرات يراوح بين 10 و50 ذرة على الأكثر، لذا فهي تسلك سلوك الذرة الأحادية للمادة. وجذبت هذه المواد اهتمام الباحثين والعلماء منذ أن تعرفوا إلى خواصها البصرية غير المسبوقة. فقد وجدوا أنه بتعريضها لمصدر خارجي من الضوء فإن ذراتها تقوم بامتصاصه كي تطلقه في صورة ألوان مختلفة عند أطوال موجية معينة. ويعتمد هذا الضوء المنبعث اعتماداً كلياً على مقاييس أقطار هذه الحبيبات، هذا إلى جانب اعتماده على هوية ونسب العناصر الداخلة في تركيبها.

وعززت هذه النقاط الكمومية بخواصها غير المسبوقة من آمال إنتاج خلايا شمسية تُعرف باسم خلايا النقاط الكمومية، وهي أحد أهم أنواع الجيل الثالث من الخلايا الشمسية. وكما ذكرنا سابقاً؛ فإن مفهوم خلايا المتراصات المؤلفة من عدة مواد قد ترسخ وتأكد كوسيلة لتحسين أداء الخلايا الفوتوفولطية ورفع كفاءتها. لذا، لم يكن غريباً على الإطلاق أن تحظى النقاط الكمومية لمادة السيليكون باهتمام وشغف غير عاديين، وذلك استناداً إلى خواصها الفريدة ومزاياها المتعددة في تحويل الطاقة بكفاءة عالية. لكن ما هي المزايا التي تتفوق بها تلك النقاط الكمومية على غيرها من التركيبات البنائية للمادة؟ في الواقع لعل المزية الأولى هي تمتعها بما يُعرف بفجوة الحزمة الانضباطية Tunable Bandgap، وتعني أن الطول الموجي القادم من طيف الإشعاع الشمسي الذي يتم امتصاصه أو نثره يمكن أن يتم الهيمنة عليه والتحكم فيه وضبطه. فكما نعلم، فإنه كلما صغرت أحجام الحبيبات وتضاءلت مقاييس أبعادها زادت قدرتها وتعاظمت في امتصاص الأطوال الموجية القصيرة من الضوء، ومن ثم تضاعف مقدار الناتج الفولطي لها، وقل فاقد الفوتونات غير المُمتصة وهذا يعني زيادة في كفاءة الخلايا وقدرة أوسع في تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية.

وعلى الجانب الآخر، وبالنقيض من الجيل الأول من الخلايا الفوتوفولطية، فإن تدني فجوة الحزمة يقود إلى رفع قدرة الخلية على «الإمساك» بالفوتونات الضوئية والاستيلاء عليها، بما في ذلك تلك الفوتونات الواقعة على حافة اللون الأحمر من الطيف الشمسي، وهذا بلا شك يؤدي إلى زيادة في إنتاجية التيار الكهربائي. وتصل كفاءة تحويل الطاقة في الخلايا الفوتوفولطية المكونة من نقاط كمومية متساوية الأحجام إلى 63%. ونظرياً، فإنه يمكن تحقيق أعلى كفاءة تحويل للطاقة ومن دون فَقدٍ يُذكر، إذا ما تم توظيف متراكبة مؤلفة لعدد من النقاط الكمومية ذات مقاييس وأبعاد مختلفة ومتدرجة (9).

(9-3) كفاءة تحويل طاقة الخلية الشمسية :

تعرف كفاءة تحويل الطاقة للخلية الشمسية بأنها النسبة المئوية للقدرة المحولة من الإشعاع الضوئى الممتص، عندما تكون الخلية الشمسية متصلة بدائرة كهربائية ، وتحسب من المعادلة الآتية (2) :

$$\mu = \frac{Pm}{E*Ac}\% \quad \text{.....(3-1)}$$

حيث :

P_m =القدرة الكهربائية المولدة (بالواط) .

E =مدخل إشعاع الضوء (بالواط/م^2) .

A_c = مساحة سطح الخلية الشمسية (م^2) .

μ =الكفاءة .

(3-10)عامل الملئ (FF):

هو مقياس لمربع منحنى (I—V) يكون للخلية الشمسية ذات الجهد الأعلى، عامل ملئ أكبر يوضح شكل (4-3) تعريف الملئ (3).

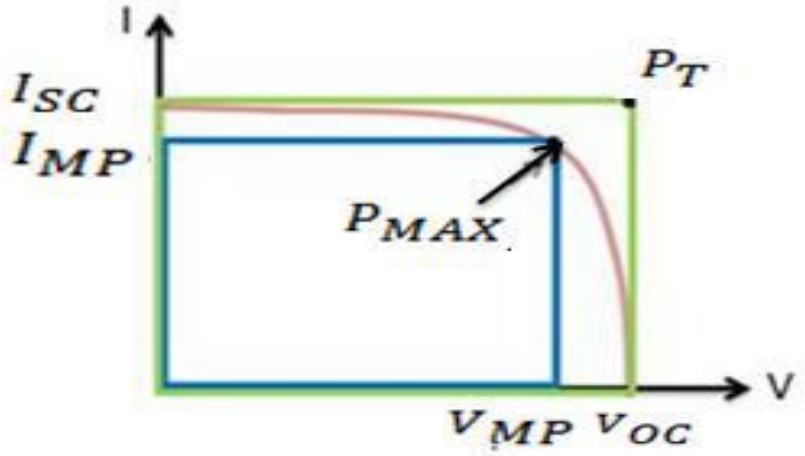
$$FF = \frac{Pmax}{Pt} = \frac{Imp\,Vmp}{Isc\,Voc} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3-2)$$

ونحصل على كفاءة الخلية الشمسية بدلالة عامل الملئ كما في المعادلة التالية :

$$P_{max} = I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3-3)$$

$$\mu = \frac{Isc\,.Voc\,.FF}{Pin} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3-4)$$

P_{in} القدرة الواقعة على الخلية .



شكل (4-3) تعريف عامل الملئ

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

(1-4) النتائج :

الخلايا الشمسية السيليكونية ذات قدرة منخفضة على امتصاص نسبة عالية من فوتونات الطيف الشمسي، الواقعة تحت مستوى الطاقة الخاص بفجوة الحزمة – حيث لا تتجاوز نسبة الامتصاص تلك 20% – وهذا يعني فقدان كم هائل من تلك الفوتونات الضوئية وعدم الاستفادة في عملية تحويل الضوء إلى طاقة كهربائية وهذا يؤدي الى قصور في الكفاءة.

تمكن فريق من الباحثين بجامعة إيلينوي الأميريكية بالإشتراك مع باحثين من المملكة العربية السعودية , من تطوير خلايا شمسية كفؤة , حيث تم وضع غشاء رقيق جداً من جزيئات نانوية سيليكونية بحجم واحد نانومتر مباشرة في الخلايا الشمسية السيليكونية,3 وجد أنه يزيد من كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية بمقدار 60% عند عمل الخلية في نطاق الأشعة فوق البنفسجية من الطيف الشمسي.

كما أمكن تحسين الإنتاجية في نطاق الضوء المرئي للطيف بنسبة 10%, بإستخدام جسيمات نانوية بحجم 2 نانومتر. ويقول أحد العلماء المتخصصين في هذا المجال , أن الضوء فوق البنفسجي في الخلايا الشمسية العادية يتم ترشيحه (فلترته) أو إمتصاصه من خلايا السيليكون و تحويله إلى طاقة حرارية –قد تكون مدمرة– وليس إلى طاقة كهربائية .

تبوأت الخلايا الفوتوفولطية المعتمدة على تقنية الأغشية الرقيقة

Photovoltaics Thin-Films (TFPV)مكانة مرموقة في عالم الخلايا الشمسية، فقد أضحى انتشارها في الأسواق واسعاً وملحوظاً (تمثل نحو 5-8% من السوق العالمي للخلايا الفوتوفولطية)، وذلك لاعتبارها مفتاح الحل في فك شفرة خفض تكلفة إنتاج وتصنيع الخلايا الشمسية في المستقبل القريب أو المتوسط الأجل.

وتتفوق تلك الخلايا الشمسية المعروفة بخلايا الجيل الثاني على خلايا الجيل الأول بقدرتها على أن تُنتج بتكلفة منخفضة، وأن يتم ترسيبها على ركائز مصنوعة من مواد رخيصة مثل الزجاج، ورقائق الفلزات، والبلاستيك.

كفاءة الخلايا الفوتوفولطية التقليدية والمصنعة من الأغشية الرقيقة ربما لا تتعدى في معظم الأحيان 10%. بيد أن تطبيقات تكنولوجيا النانو قادت في الآونة الأخيرة إلى إنتاج أجيال متقدمة من الأغشية الرقيقة المخلقة من مواد لسبائك جديدة ومركبات، مثل تيلوريد الكادميوم، مما أدى إلى طفرة حقيقية في عالم الخلايا الفوتوفولطية، وبزوغ نجم خلايا الجيل الثاني القائم على تكنولوجيا الأغشية الرقيقة النانوية السمك.

قاد البحث في مجال تطوير صناعة الخلايا الشمسية للتوصل إلى إنتاج خلايا متغايرة الوصلات Heterojunction مؤلفة من أغشية مادتي التيلوريد الكاديوم مع كبريتيد الكاديوم، حيث وصلت كفاءة تلك الخلايا في تحويل الطاقة إلى نحو 16.5% .

ومع الإصرار والإرادة البحثية ، تم التوصل إلى أغشية متقدمة مصنوعة من مادة رائدة جديدة هي سبيكة نحاس إنديوم الغاليوم. وهذه المادة الجديدة التي تم دراسة خواصها وسلوكها على مدار 20 عاماً، أظهرت سبقاً غير متوقع في قدرتها الفائقة على تحويل الطاقة، حيث بلغت كفاءتها نحو .20%

قد أبدت خلايا المادة الجديدة – التي تعرف اختصاراً باسم – CIGSمقدرة واسعة على امتصاص نسبة كبيرة من فوتونات الطيف الشمسي الواقعة تحت مستوى الطاقة الخاص بفجوة الحزمة فاقت كل التوقعات، حيث وصلت تلك النسبة إلى أكثر من 90%، وذلك عند سمك يراوح بين 2 – 3 ميكرومترات.

أدى احتكار المواد النانوية لخصائص بصرية كهربائية وكيميائية فائقة وغير معتاد توافرها في المواد التقليدية الكبيرة الحبيبات؛ إلى زيادة كبير في فرص توظيفها في إنتاج جيل متقدم ومتميز من الخلايا الشمسية يُعرف باسم الجيل الثالث.

تم تطبيق عدد من المواد النانوية في مجال تطوير الخلايا الفوتوفولطية، نذكر منها على سبيل المثال المتراكبات النانوية لأشباه الموصلات، والنقاط الكمومية – تُسمى أيضاً بالبلورات النانوية – والحبيبات النانوية، والأسلاك والأنابيب النانوية. وقد استخدمت هذه المواد النانوية الأبعاد بطرق مختلفة ترمي إلى محاولة التغلب على تكلفتها الإنتاجية العالية، وفي الوقت نفسه رفع فعاليتها وكفاءتها في تحويل الطاقة وإنتاج الكهرباء، في وظائف عدة وبأداء متباين يستهدف تعزيز الاستراتيجيات الخاصة بتحويل الطاقة.

تُعد الخلايا الشمسية الصبغية أحد أول وأهم أنواع الجيل الثالث من الخلايا الفوتوفولطية نظراً لتفردها بمزايا تقنية واقتصادية متعددة، ويُعتقد أنها ستكون البديل الموثوق به لخلايا الجيل الأول المصنوعة من رقائق السيليكون.

(2-4) المناقشة:

إن معظم وحدات الخلايا الفوتوفولطية المتوافرة في الأسواق على المستوى التجاري يتم تصنيعها إما من بلورات السيليكون الأحادية أو من السيليكون المتعد د البلورات. وعلى ضوء ما أشرنا إليه في البحث، فإن الحد النظري الأقصى لكفاءة الخلايا الأحادية الوصلات المُصنعة من السيليكون هو 31%.

ويرجع السبب الرئيسي في قصور كفاءة الخلايا الفوتوفولطية من هذا النوع في تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية إلى انخفاض قدراتها على امتصاص نسبة عالية من فوتونات الطيف الشمسي، الواقعة تحت مستوى الطاقة الخاص بفجوة الحزمة – حيث لا تتجاوز نسبة الامتصاص تلك 20% – وهذا يعني فقدان كم هائل من تلك الفوتونات الضوئية وعدم الاستفادة في عملية تحويل الضوء إلى طاقة كهربائية. وعلى الجانب الآخر، فإن التعزيز الحراري لحاملات الشحنات – وهي الفجوات التي تتركها الإلكترونات المتحركة بحزام التكافؤ – المُتولدة عن امتصاص فوتونات الطاقة العليا وتشتتها يؤدي بالتبعية إلى إهدار ذلك الكم الهائل من تلك الفوتونات مما يؤدي إلى انخفاض قدرة الخلايا الشمسية في تحويل الطاقة.

وفي إطار ما تقدم وفي ضوء تدني كفاءة خلايا السيليكون الفوتوفولطية الأحادية الوصلات، فقد طرحت تكنولوجيا النانو نُهجا متميزة وعدداً من المفاهيم الجديدة الرامية إلى زيادة الكفاءة الفعلية لتلك الخلايا كي تصل إلى مرتبة قريبة من الحد النظري المحسوب لكفاءة الخلية وهو 31%. وقادت التقنيات النانوية إلى طرح عدد من المُبادرات المُبتكرة تستهدف إلى إنتاج خلايا شمسية متطورة من السيليكون، تتمتع بقدرة أعلى من الخلايا التقليدية للجيل الأول فى تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية. ولقد استفادت عمليات البحث والتطوير الجارية في مجال خلايا السيليكون الفوتوفولطية من الثروة المعرفية الهائلة الخاصة بقطاع إنتاج الدارات المتقدمة المصنوعة من السيليكون والتي تقطع كل يوم خطوات تكنولوجية واسعة.

.

(3-4) التوصيات :

لكي يتحقق الهدف الذي يربط بين التكلفة والكفاءة، يجب إجراء المزيد من البحوث لتحسين كفاءة الخلايا السيليكونية الفوتوفولطية وزيادة قدراتها على امتصاص أشعة الطيف الشمسي، وذلك عن طريق إنتاج الجيل الثالث من تلك الخلايا القائمة على تكنولوجيا النانو لإنتاج أغشية رقيقة نانوية السمك من السيليكون غيرالمتبلور، وأيضاً السيليكون المتعدد البلورات.

تطوير الخلايا الفوتوفولطية المتعددة الوصلات والتي أخذت مكاناً مرموقاً في دنيا الخلايا الشمسية المتميزة والقائمة على تكنولوجيا النانو؛ لأنها تسمح باستيعاب نطاق أوسع من الأطوال الموجية بالطيف الشمسي.

تاهيل الكوادر الوطنية خصوصاً فى الجانب المعرفي بتكنولوجية النانو .

العمل على نشر ثقافة الطاقة البديلة وخاصة الخلايا الشمسية وتوضيح أهميتها ودورها والفوائد التى تعود على المواطنين منها .

(4-4) المراجع :

1- بعض مواقع الإنترنيت المتخصصة .

2- د. محمد لطفي الخلايا الشمسية ، ، دار اسامة لطباعة والنشر ، دمشق ، 2007 .

3- د.م كاميليا يوسف محمد – مراجعة : د.م محمد صلاح السبكي – الطاقة الكهروشمسية ، الإسكندرية ، اكتوبر 2016 .

4- إنعام عزالدين ابراهيم ، تحديد كفاءة خلايا شمسية بالسودان وتيارتها وجهودها وتركيز شحناتها ، بحث ماجستير ، كلية الدراسات العليا جامعة السودان ، 1431—2010 .

5- محمد خليل محمد على ، أثر شدة الإشعاع الشمسي على قدرة و كفاءة الخلايا السيليكونية ، بحث ماجسير ، كلية الدراسات العليا جامعة السودان ، 2005 .

6- م. مها عبدالستار سيد احمد ، الطاقة الجديدة والمتجددة ودورها في التنمية المستدامة للمناطق الريفية ، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة جامعة القاهرة ، مارس 2013 .

7- فؤاد نمر الرفاعي ، مفاهيم اساسية فى تقنية النانو ، العراق جامعة زي قار ، كلية العلوم 2015 – 2016 .

8- حسن عزالدين بلال ، النانو وتطبيقاته – موقع ومكتبة الفريد في الفيزياء .

9- د. محمد شريف الإسكندراني ، الخلايا الشمسية النانوية ، مجلة التقدم العلمى – الطاقة المتجددة .