



جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل - كلية التربية للعلوم الصرفة

تكنولوجيا الأغشية الرقيقة وتطبيقاتها في الخلايا الشمسية

بحث مقدم إلى مجلس قسم الفيزياء في كلية التربية للعلوم الصرفة كجزء من
متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء

إعداد الطالب

علي عايد مردان

بإشراف

د. علاء نهاد طعمه

2024 م

قال الله تعالى :

﴿ يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا
الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۗ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴾



سورة المجادلة

صدق الله العلي العظيم

الإهداء

إلى من سهر على تربيّتي وكافح لأجل هذه اللحظات،

إلى من اجتهد بالعمل حتى يوصلني إلى ما أنا عليه الآن،

إلى من علمني الحرف الأول،

إلى الأصدقاء ورفقاء الدرب،

أهديكم بحثي هذا وأتمنى أن أدخل الفرحة على قلوبكم المحبة

الشكر والتقدير

أشكر الله تعالى رب الأرباب الرحمن الرحيم بنا،

اتقدم بالشكر لعائتي الكريمة والمحبة،

واتقدم بالشكر لجميع من اعانني في مسيرتي منذ بدأت حتى الآن،

إلى مشرفي المحترم (علاء نهاد طعمه) جزيل الشكر الامتنان متقدما

لمساندتك اياي،

إلى عميد كلية التربية للعلوم الصرفة والأساتذة الافاضل، جزيل الشكر لكم

المحتويات

ب	الآية الكريمة
ج	الإهداء
د	الشكر والتقدير
و	جدول الأشكال
ز	الخلاصة
الفصل الأول: الأغشية الرقيقة	
1	1.1 المقدمة
2	2.1 مراحل تشكيل الغشاء
3	3.1 أشكال نمو الغشاء
3	4.1 أنواع الأغشية الرقيقة
4	5.1 طرق تحضير الأغشية الرقيقة
9	6.1 تطبيقات الأغشية الرقيقة
الفصل الثاني: الخلية الشمسية	
14	1.2 المقدمة
15	2.2 الخلية الشمسية
16	3.2 تركيب الخلية الشمسية
17	4.2 الألواح الشمسية
19	5.2 أنواع الخلايا الشمسية
21	6.2 كفاءة الخلايا الشمسية
23	7.2 العوامل المؤثرة على كفاءة الخلية الشمسية
24	8.2 طرق تحسين أداء الخلايا الشمسية
25	9.2 الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة
الفصل الثالث: الخلايا الشمسية المكونة من أغشية رقيقة	
27	1.3 الخلايا الشمسية المكونة من أغشية رقيقة
32	2.3 الدراسات السابقة حول الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة
33	3.3 تطوير خلايا السيليكون الشمسية
34	4.3 خلايا شمسية ذات أداء محسن
35	5.3 بعض الشركات الرائدة في مجال تصنيع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة
35	6.3 تعتمد معايير "أفضل عالم" على:
37	الخاتمة
38	المصادر والمراجع

جدول الأشكال

صفحة	الشكل
5	الشكل (1.1) طريقة التبخير الحراري
6	الشكل (2.1) طريقة التبخير بواسطة المدفع الإلكتروني
7	الشكل (3.1) De Diode Sputtering Deposition
8	الشكل (4.1) DC Magnetron Sputtering
9	الشكل (5.1) RF (Radio - Frequency) Sputtering
9	الشكل (6.1) الطلانات البصرية
10	الشكل (7.1) الخلايا الفوتوفولتية
11	الشكل (8.1) أشباه الموصلات
11	الشكل (9.1) الخلايا الكهروضوئية الكيميائية
12	الشكل (10.1) العدسات
12	الشكل (11.1) شاشات العرض المسطحة
13	الشكل (12.1) جهاز إستشعار غازي
16	الشكل 1.2 مكونات الخلية الشمسية.
17	الشكل 2.2 تركيب الخلية الشمسية.
20	الشكل 3.2 الخلايا البلورة احادية السيلكونية
20	الشكل (4.2) بلورات السيلكون المتعددة البلورة.
22	الشكل (5.2) منحنى كفاءة الخلايا الشمسية.
27	شكل (1.3) غشاء رقيق للخلية الشمسية.

الخلاصة

تعتبر الخلايا الشمسية من التكنولوجيا الحديثة الهامة التي تلعب دوراً أساسياً في توليد الطاقة النظيفة والمستدامة. تعتمد فكرة الخلية الشمسية على تحويل طاقة الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية باستخدام ظاهرة الفوتوفولطية، مما يجعلها وسيلة فعالة وبيئية لتوليد الطاقة الكهربائية. تتميز الخلايا الشمسية بقدرتها على توليد الطاقة في أماكن متعددة وبمختلف الظروف الجوية، مما يجعلها مصدراً مهماً لتلبية احتياجات الطاقة في مختلف أنحاء العالم.

تتاول هذا البحث مفهوم وفوائد الخلايا الشمسية، مع التركيز على تكنولوجيا الأغشية الرقيقة الشمسية. يتكون البحث من ثلاثة فصول رئيسية: الفصل الأول يقدم نظرة عامة عن التكنولوجيا الأغشية الرقيقة، مع التركيز على أنواعها وكيفية تشكيلها، في حين يستعرض الفصل الثاني مبادئ الخلايا الشمسية وعملها. أما الفصل الثالث، فيقدم دراسة مفصلة عن الخلايا الشمسية المكونة من أغشية رقيقة، بما في ذلك أنواعها والدراسات السابقة عنها.

باختصار، يهدف هذا البحث إلى توضيح أهمية تكنولوجيا الأغشية الرقيقة في تطوير وتحسين أداء الخلايا الشمسية، مما يسهم في تعزيز استدامة وفعالية استخدام الطاقة الشمسية في مجالات مختلفة، وبالتالي، تحقيق الأهداف البيئية والاقتصادية للعالم.

الفصل الأول

الأغشية الرقيقة

الفصل الأول

1.1. المقدمة

إن تقنية الأغشية الرقيقة هي الأساس في مجال تطور الكترنيات الحالة الصلبة وإن الخواص الضوئية للأفلام المعدنية والفضول العلمي حول سلوك المواد الصلبة ثنائية الأبعاد هي المسئولة عن التقدم الهائل في دراسة علم تقنية الأغشية الرقيقة وإن دراسة تقنية الأغشية الرقيقة المباشرة وغير مباشرة فتحت مجالات عديدة من البحث العلمي في فيزياء الحالة الصلبة والتي تقوم على ظواهر فريدة للأغشية كالمسك والشكل والتركييب لهذه الأغشية وعندما نأخذ في الاعتبار غشاء رقيق جداً من مادة معينة فإننا بصدد حالة السطحين للغشاء متداخلين إلى درجة كبيرة جداً على غير العادة كما في المواد السمكية فإن هذا يعمل على وجود خصائص جديدة للمادة كغشاء رقيق وعندما تكون المادة كغشاء رقيق ويكون سمكها في حدود عدة ذرات يخلق مجالاً وسطاً بين النظامين الرقيق والجزيئي وبالتالي يوفر لنا وسيلة لتحقيق الطبيعة الميكروفيزيائية من العمليات المختلفة.

والأغشية الرقيقة للمواد تكون مناسبة للتطبيقات الالكترونية والضوئية إلا أن بعض الخصائص مثل المقاومة الكهربائية في بعض الأحيان لا تختلف جوهرياً للأغشية الرقيقة عن كونها المادة السمكية إن تقنية الأغشية الرقيقة للمواد هي مفتاح الاستمرار في التقدم التكنولوجي في العديد من المجالات مثل المجالات الكهروضوئية والضوئية والمغناطيسية حيث أن تقنية الأغشية الرقيقة تمكنا من تصنيع الأجهزة الالكترونية المختلفة وحيث أن معظم المواد تختلف في خصائصها الفيزيائية الكهربائية والضوئية والمغناطيسية عندما تكون غشاء رقيق مما يساعد على الاستفادة من هذه التغيرات في تصنيع أجهزة جديدة متعددة الاستخدامات والتطبيقات والتي تدخل في صناعة الأجهزة الالكترونية الدقيقة وأفلام التسجيل المغناطيسية والحساسات الضوئية والخلايا الشمسية والمرشحات وأجهزة الاستشعار عن بعد يصف مصطلح الغشاء الرقيق طبقه واحدة او عدة طبقات من ذرات الماده لايتجاوز سمكها المايكرون الواحد. استعملت الأغشية الرقيقة منذ أكثر من نصف قرن في عمل النباط الالكترونية والفتو فولتاويه ومختلف التطبيقات البصرية وهي ما زالت تتطور يوميا. حيث أن تقنية الأغشية الرقيقة تعتبر تقنية قديمة لكنها بنفس الوقت تعتبر المفتاح الحالي لتقنية الكثير من المواد وهناك مجلدات عديدة خاصة

بالأغشية الرقيقة منها كتيب العالمين (Massiel and Glay) منذ أكثر من ثلاثين سنة. وكذلك يستعمل مصطلح الأغشية الرقيقة لوصف طبقة ، أو طبقات عديدة (Layers) من ذرات المادة لا يتعدى سمكها مايكرومتر واحد، أو عدة نانومترات، ولأنها رقيقة، وهشة (سهلة الكسر) يجب ترسيبها على مادة صلبة مثل الزجاج، أو السليكون، أو بعض الأملاح، أو البوليميرات. تمتلك الأغشية الرقيقة خصائص، ومميزات لا تكون متوافرة في تراكيب المواد الأخرى، فحقيقة سمكها المتناهي في الصغر وكبر نسبة السطح إلى الحجم منحته تركيباً فيزيائياً فريداً يضاهاه تركيب أحادية البلورة أحياناً، وبفوقها أحياناً أخرى، وتتمتع الأغشية بخصائص فيزيائية تختلف عن خصائص المواد المكونة لها وهي في حالتها الحجمية (Bulk). و تعد امكانية تحضير اكثر المواد الصلبة على هيئة أغشية رقيقة إحدى التقنيات المهمة للحصول على صفات جديدة للمواد التي يصعب مشاهدتها وتحسسها عندما تكون بشكلها الكتلي الطبيعي.

2.1. مراحل تشكيل الغشاء

يمكن تختصر مراحل تشكيل الغشاء في ست خطوات:

1. التوافق (التكيف) الحراري : اي ان تكون الركيزة مهئية حراريا لاستقبال (التقاط) الذرات المصطدمة.
2. الارتباط: هنالك عملية تنافسية بين الذرات المرتبطة بالسطح اثناء عملية توضعها وبين عملية انتزاع هذه الذرات عن السطح .
3. انتشار السطح : بعد ارتباط الذرات بالسطح تتشكل على عملية عناقيد مستقرة وقابلة للنمو فهي تمثل عامل جذب وبالتالي سيتشكل الغشاء، وحتى تتم عملية نمو هذه العناقيد تسقط الذرات على السطح وتندرج وتأخذ مناحي انتشار وتتجة نحو العناقيد لتنمو وتتحول لغشاء رقيق (فهي عملية عشوائية لكن فيها مسارات مفضلة).
4. عملية التنوية : وهي عملية تشكل العنقود والتي يعرقلها وجود معدل انتزاع يعيق تشكل العنقود، اما الذي يخفض عملية تشكل العنقود بشكل سريع هو كون سطح الركيزة غير مستوي او يحوي على بعض النتوءات تؤدي الى عرقلة تدرج الذرات على السطح وبقاءها زمنا كافيا لتتجمع وتشكل عنقود.

5. نمو الجزر : وهو نمو العناقيد لتتحول الى غشاء.

6. اتحاد الجزر مع بعضها : ويتم بمغادرة الذرات والجزر الصغيرة باتجاه الكبيرة وابتلاع العناقيد الصغيرة التي تتحرك بعشوائية من قبل الكبيرة.

3.1. أشكال نمو الغشاء

تتمثل أشكال نمو الغشاء بما يلي:

1. النوع D2 من النمو البطيء ينتج عنه سطح ناعم املس تماما وهو نمو ثنائي الابعاد يشكل غشاء يمتد على سطح الركيزة.

2. النوع D3 تتكون فيه عناقيد سريعة النمو، وهو نمو ثلاثي الابعاد يحدث منه عدد من العيوب خلال النمو، يعتمد على عدم التجانس بين الطبقات والركيزة.

3. النوع غير المتبلور.

4. نوع التبعثر الداخلي.

4.1. أنواع الأغشية الرقيقة

1.4.1 أغشية المعادن والسبائك

تستخدم هذه الأغشية كمقاومات كهربائية، ومن المعادن المفضلة في هذا المجال المعادن الإنتقالية وسبائكها، حيث تمتاز بمقاومتها العالية مقارنةً بالسبائك الأخرى وذلك بسبب تداخل حزم الطاقة المملوءة جزئياً مع حزم الطاقة الفارغة جزئياً، إضافة إلى ذلك فإن محدودية الغشاء الرقيق تساهم في تغيير المقاومة النوعية بسبب الإستطارة السطحية وهي صفة مميزة للأغشية المصنعة من هذه المواد يمكن التحكم بمقاومة الاغشية عندما يكون سمك الغشاء أقل من معدل المسار الحر للألكترونات فتستطير الإلكترونات عند السطح في حالة تسليط مجال كهربائي وكذلك عند إسصطدام الإلكترونات مع النويات والتي يكون حجمها مساوياً أو أقل من معدل المسار الحر للألكترونات مما يزيد من مقاومة أغشية المعادن والسبائك وتستخدم مثل هذه الأنواع من الأغشية كموصلات في الدوائر الكهربائية وفي بناء المحتثات والمتسعات.

2.4.1. أغشية مزيج العوازل والمعادن

درست هذه الأغشية منذ سنوات عدة وإن النظرية التي تفسر سلوك المزيج المصنع كغشاء رقيق تدعم المسامية حيث تعتمد على مبدأ التركيز الحرج للمادة الموصلة فعندما يكون تركيز المادة أعلى من القيمة الحرجة عندها يمكن اعتبار الغشاء شبكة متصلة من الشعيرات المعدنية أما إذا كان تركيز المادة الموصلة أقل من القيمة الحرجة فلا تكن الفواصل متصلة مع بعضها بصورة جيدة لتمثل مسارات معدنية ولذلك يحصل التوصيل الكهربائي بين جسيمات محددة حيث أن انتقال الإلكترونات يتطلب إثارة حرارية للتغلب على القوة الكهربائية المستقرة ومثل هذه الحرارة تجعل معامل المقاومة سالباً وهي الصفة المكتسبة لمزيج المعادن والعوازل.

3.4.1. الأغشية المتبلورة

يستخدم هذا النوع من الأغشية في صناعة الأفلام الجافة والمفاتيح الكهربائية وكاشف الأشعة تحت الحمراء والتصوير الضوئي. أما أكاسيد المواد الداخلة في تكوين تلك الأغشية فتستخدم في الدوائر الكهربائية المتكاملة وترجع أهمية الأغشية الرقيقة غير المتبلورة إلى إمكانية تحضيرها في مساحات كبيرة يمكن الاستفادة منها في التطبيقات الصناعية.

4.4.1. الأغشية الموصلة للكهربائية

يستخدم هذا النوع من الأغشية في أجهزة قياس شدة الضوء وفي التصوير الفوتوغرافي الضوئي وكواشف حزم الضوء لأغراض التنبيه وفي الإستتساخ الضوئي إن هذه التطبيقات تعتمد على فكرة التوصيل الكهربائي الضوئي حيث أن تفاعل الإشعاع مع المواد الموصلة ضوئياً يؤدي إلى تغيير الإيصالية لتلك المواد، وإن أكثر الموصلات الضوئية تظهر إمتصاصية عالية لجزء محدود من الطيف وخاصة عند الطبقات الرقيقة من سطوح المواد الموصلة ولكون أن الصفات الأصلية للمادة لا تتأثر بالسلك لذلك تستخدم أغشية رقيقة لا يتعدى سمكها أحياناً مايكروناً واحداً.

5.1. طرق تحضير الأغشية الرقيقة

1.5.1 الترسيب بالتبخير

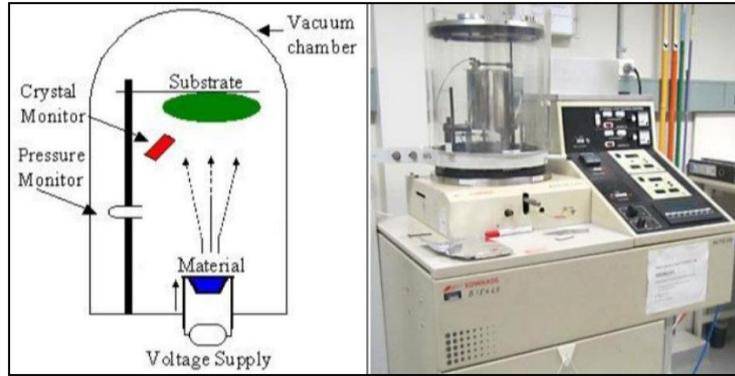
وهذه الطرق تتم على ثلاث مراحل:

1. تحويل المادة المراد عمل الفيلم منها إلى بخار فيزيائياً.
2. تنتقل الذرات من المادة وهي في الحالة البخارية خلال وسط مفرغ إلى الركائز مباشرة.
3. يتكثف البخار على الركيزة (Substrate) لتكوين الفيلم.

تتم عملية تحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية من خلال تسخين المادة فتكتسب الجزيئات التي على السطح طاقة حركة من الحرارة أو يتم عن طريق انتقال لكمية التحرك كما في طرق التريذيد (Sputter) ويوجد نوع ثالث وفيه تنتقل المادة إلى الحالة الغازية عن طريق ما يسمى زيادة الطاقة السطحية (Augmented energy) وتشمل الأيون والبلازما والليزر.

أولاً: طريقة التبخير الحراري

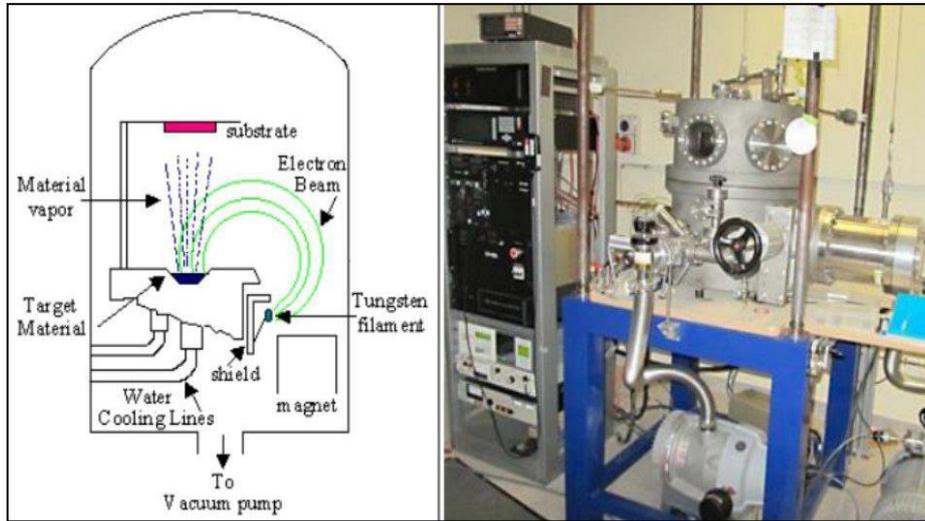
وفي هذه الطريقة يتم وضع المادة المراد ترسيبها داخل بوتقة (boat) على شكل حويض ويربط الحويض مع قطبين متصلين بمصدر للتيار الكهربائي يصل إلى 80 أمبير كما توضع الركائز التي سوف تبخر عليها المادة أعلى الحويض مباشرة ثم تفرغ المجموعة إلى ضغط يصل إلى 10 - تور ويتم هذا التفريغ عن طريق مضختين: مضخة دوارة (rotary pump) والتي تحدث انخفاض في الضغط يصل إلى 10 - 3 تور ومضخة أخرى تسمى مضخة الزيت (diffusion pump) ويصل انخفاض الضغط إلى 10 - 5 تور ويمكن في هذه المنظومة خفض الضغط أكثر من ذلك وذلك عن طريق استخدام الهليوم والهيدروجين السائل.



الشكل (1.1) طريقة التبخير الحراري

ثانياً: طريقة التبخير بواسطة المدفع الإلكتروني

إن هذه الطريقة مشابهة لطريقة التبخير الحراري (Thermal evaporation) أي أنه في هذه الطريقة أيضاً يتكون الفيلم عن طريق التبخير ولكن هنا تتبخر المادة بواسطة حزمة من الإلكترونات توجه بواسطة مجال مغناطيسي مباشرة وتتميز هذه الطريقة عن طريق التبخير الحراري حيث أنه يمكن أن تضاف الحرارة مباشرة إلى المادة لكي تصل إلى درجة الانصهار في لحظة واحدة مرة واحدة ويمكن تبخير أكثر من مادة في نفس الوقت حيث أن الحرارة تضاف مباشرة إلى المادة دون المرور على البوتقة (crucible) الحاوية للمادة مما يقلل درجة الشوائب أكثر مما كانت عليه في حالة التبخير الحراري ويوجه شعاع الإلكترونات المنتج من جهد عالي جداً بواسطة عدة مغناطيسيات قوية وتركز على المادة حيث أن شعاع الإلكترونات يخترق المادة مؤدياً إلى انصهارها وأن مشاكل النسب المتكافئة للمركبات عند التبخير هي المركبات تحدث لها انكسار عند درجات الحرارة المرتفعة، وكل مركب له ضغط تبخير خاص به مما يجعل معدل التبخير مختلف مما يؤدي إلى عدم تساوي نسب التكافؤ في المركب عندما يكون فيلم بالمقارنة بالمادة (Bulk).



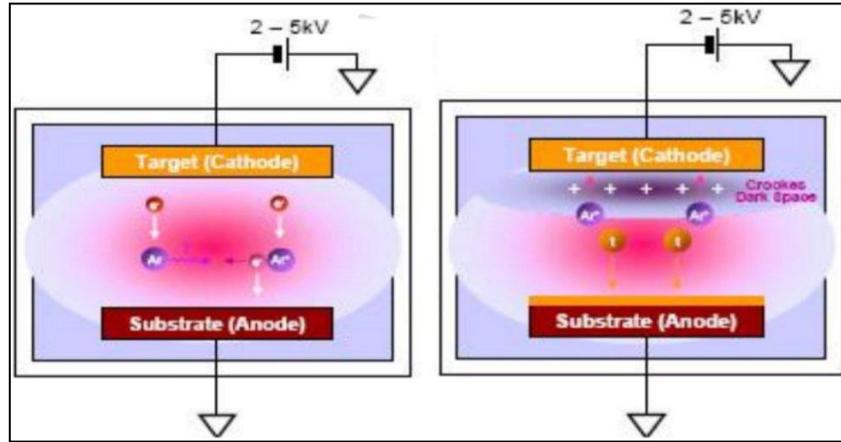
الشكل (2.1) طريقة التبخير بواسطة المدفع الإلكتروني

2.5.1. طريقة التريز

في هذه الطريقة تتعرض سطح مادة معينة إلى القذف بجسيمات تحمل طاقة كافية لفصل ذرات من سطح المادة وجعلها تغادر السطح مسببة تآكل سطح الهدف وتدعى الذرات المنفصلة بالذرات المترذدة وتنقسم الي عدة طرق هي:

De Diode Sputtering Deposition – 1

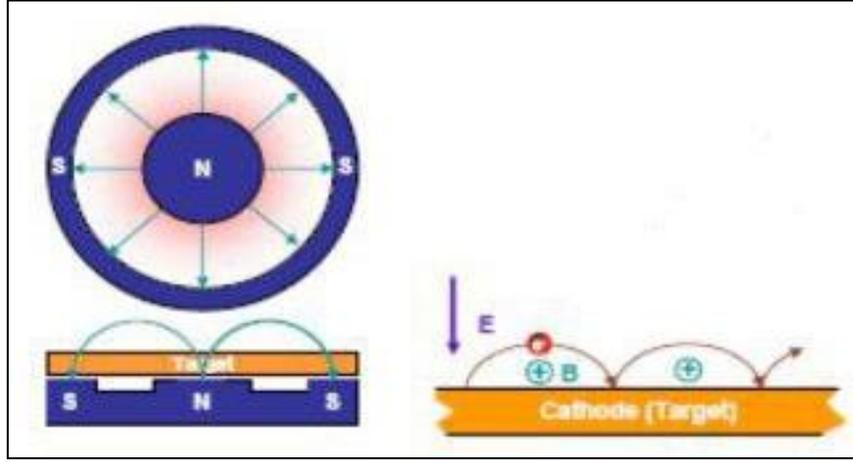
في هذه الطريقة توضع المادة المراد تبخيرها ككاثود وتوضع الركيزة (Substrate) كأنود وتوضح في غرفة تفريغ بها غاز الأركون Ar₂ ويطبق فرق جهد عالي (2-5 كيلو فولت) من مصدر جهد ثابت (DC) عبر الدايمود (cathode–Anode) وتتسارع الالكترونات الحرة الموجودة بغرفة التفريغ بفعل فرق الجهد العالي وهذه الالكترونات تعمل على إثارة وتأيين غاز الأركون 2ndeldctron يتسارع ويكرر نفس الخطوة السابقة ليؤين ذرة أرجون أخرى وعندما تزيد الالكترونات إلى درجة كبيرة تعمل (gas breakdown) هذه الشرارة الكهربائية (Plasma) تعمل على ترذيد المادة وبترسب الفيلم على الشريحة (الركيزة).



الشكل (3.1) De Diode Sputtering Deposition

DC Magnetron Sputtering – 2

هي نفس الطريقة السابقة ولكن تختلف عنها في كون أن الالكترونات تتسارع بفعل مجال مغناطيسي كما بالشكل وتتميز هذه الطريقة عن الطريقة الأولى DC Diode بأنها تحتاج إلى ضغط منخفض أقل وينتج معدل ترسيب أكبر.



الشكل (4.1) DC Magnetron Sputtering

مقارنة بين DC Magnetron & DC diode

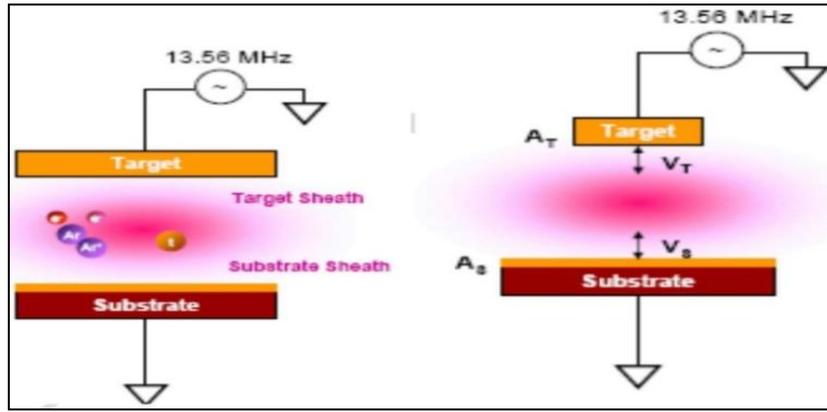
- معدل الترسيب (deposition rate) في حالة DC Magnetron أكبر بمائة مرة عن DC diode.
- تحتاج إلى خفض الضغط أقل بمائة مرة من DC Diode.

3- RF (Radio - Frequency) Sputtering

لا نستطيع استخدام الطريقتين السابقتين (DC) للمواد العازلة لأنه في DC لا بد أن يكون الهدف موصل لكي يستخدم ككاثود ولكي نتغلب على هذه المشكلة بالنسبة للعوازل نستخدم AC Power عندما يكون التردد أقل من $100 >$ كيلو هرتز فإن كلاً من الأيونات والإلكترونات تستطيع المرور والسريان DC Sputtering .

وعندما يكون التردد أكبر من $1 <$ ميجا هرتز فإن الأيونات الثقيلة لا تستطيع التنقل وملاحظة التغير في التردد مما يجعلها تكون منطقة جهد تسمى Dark-Space (sheath) عند الأقطاب كما بالشكل ويكون النسبة بين الجهدين المتكونين.

$$\left(\frac{V_t}{V_s}\right) \propto \left(\frac{A_s}{A_t}\right) \dots \dots \dots (1.1)$$



الشكل (5.1) RF (Radio – Frequency) Sputtering

6.1. تطبيقات الأغشية الرقيقة

1.6.1 الطلائات البصرية

إن الطلاء الضوئي هو عبارة عن طبقة أو عدة طبقات من المادة ترسب على ركائز مثل العدسات والمرابا التي تغير من انعكاسها ونفاذيتها للضوء وأحد أنواع هذه الطلاءات يعتمد على جعل المادة غير عاكسة وهذا النوع يستخدم غالباً في العدسات. أما النوع الآخر من هذه الطلاءات فإنه يزود نسبة انعكاس المواد لتصل إلى 99.99% وهذا النوع يستخدم في المرابا والمرشحات.



الشكل (6.1) الطلائات البصرية

2.6.1 الخلايا الفوتوفولتية

في لوحة الطاقة الشمسية المألوفة يتم تحويل الطاقة الضوئية (طاقة الفوتونات الساقطة) إلى طاقة كهربية وذلك في خلية تحتوي على طبقتين رقيقتين من السيلكون البلورية وكان الاتجاه إلى استبدال السيلكون البلوري حيث أنه مكلف جداً بالسيلكون الأمورفي وبالخلايا رخيصة الثمن مما أدى العلماء إلى البحث عن مواد أخرى عضوية وصناعة الخلايا الفوتوفولتية منها وذلك بترسيب عدة طبقات بدل من طبقتين لإنتاج الطاقة الكهربائية وإنتاج هذه الخلايا منخفضة التكلفة سوف يكون بمناسبة نقطة انعطاف كبرى في سوق صناعة الخلايا الشمسية .

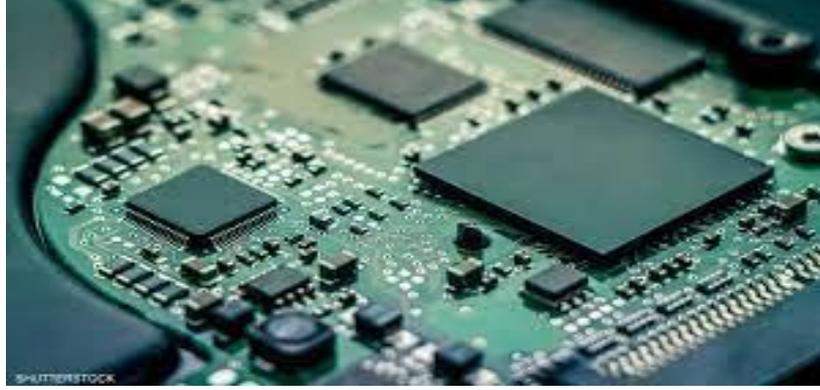


الشكل (7.1) الخلايا الفوتوفولتية.

3.6.1. أشباه الموصلات

تاريخياً اعتمدت صناعة أشباه الموصلات علي شرائح رقيقة ثنائية الأبعاد ومسطحة والتي بدورها تستخدم في الدوائر الالكترونية لجميع الأجهزة الالكترونية والكمبيوتر. وهذا الغشاء الرقيق جداً (يصل سمكه إلى بضع مئات من النانومترات) تصنع من المواد الزجاجية أو البلاستيكية المرنة فتح مجالاً واسعاً أمام صناعة الالكترونيات وبالإضافة لذلك رقة هذه المواد جعلت منها مكاناً مناسباً لترسيب مواد أخرى عليها مما يضاعف عدد الدوائر الالكترونية في حجم صغير جداً مثل الدوائر المتكاملة والتي لا يتعدى حجمها إلى بضع سنتيمترات وبها آلاف الدوائر الالكترونية. وصغر حجمها يجعلها منخفضة استهلاك الطاقة وبتيح تصنيعها في ثلاثة أبعاد. وتستخدم تقنية أغشية رقيقة من أشباه الموصلات في تطبيقات أخرى مثل: صناعة الخلايا الشمسية والبطاقات الذكية وفي العديد من المجالات الطبية، والأغشية الرقيقة من السيلكون أو

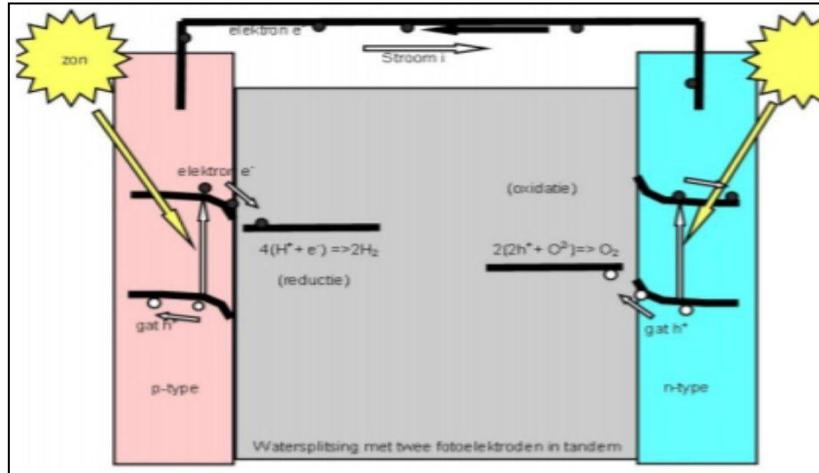
الجرمانيوم شبه الموصل هي مثيرة للاهتمام بشكل خاص حيث أن الجرمانيوم له ثورة عالمية على اختصاص الضوء أكثر من السيلكون مما يجعله أكثر استخداما في الكاميرات الضوئية العالية النقاء والمنخفضة التكاليف.



الشكل (8.1) أشباه الموصلات.

4.6.1. الخلايا الكهروضوئية الكيميائية

في تجارب photoelectrochemical يتم تشييع الالكترونون بالضوء مما يجعل المادة تمتص الضوء وتعطي تيارا كهربائيا (photocurrent). واعتماد هذا التيار الكهربائي على الطول الموجي للضوء الساقط وعلى فرق الجهد بين الاقطاب وعلى محلول التوصيل يعطينا فكرة عن طبيعة (photo process). وتتم عملية التحلل الضوئي على سطح الأقطاب الكهربية وبذلك تتحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربية ويمكن الاستفادة منها في التطبيقات العملية.



الشكل (9.1) الخلايا الكهروضوئية الكيميائية.

5.6.1. العدسات الإلكترونية

هذه العدسات مصممة بحيث أنها تعمل في مدى جزء صغير من الطيف الكهرومغناطيسي ولا تسمح لبقيّة الطيف بالنفاذ وهي عبارة عن شرائح رقيقة من مادة يكون معامل انكسارها مناسب في المدى المطلوب العمل به.



الشكل (10.1) العدسات

6.6.1. شاشات العرض المسطحة:

هي شاشات عرض تعمل بتقنية متقدمة جداً عن الشاشات القديمة حيث أنها أعلى في النقاء وشفاء الصورة وأعلى في الأداء من غيرها حيث أنها لا تستهلك طاقة عالية كما أنها لا تلوث الطبيعة مثل باقي الشاشات ولها تكلفة أقل حيث أن بيئة تصنيعها أقل تلوث عن بيئة تصنيع شاشات العرض القديمة.



الشكل (11.1) شاشات العرض المسطحة

7.6.1. تخزين البيانات:

تخزن البيانات في هذه الأدوات حيث أنها تكتب ميكانيكياً بمقياس النانو (nanoscale) وتقرأ بواسطة حافة رقيقة جداً وتمسح حرارياً ومثال على هذه الأجهزة (IBM) والتي تستخدم فيها أفلام رقيقة جداً من البوليمر كوسط تخزين وفي بعض الأحيان تستخدم سبائك من Ni-SMA (Ti) كذاكرة.

8.6.1. المكثفات الفائقة:

كانت أول فكرة لتخزين الشحنة عام 1950م وحازت على براءة اختراع وكانت عبارة عن موصلين كهربائيين بينهما عازل أحدهما يحمل شحنة موجبة والآخر يحمل شحنة سالبة هي ثم تطورت صناعة المكثفات بعد ذلك حتى وصلت إلى المكثفات الفائقة حيث أن المكثفات الفائقة أجهزة تخزين للطاقة كهروكيميائياً.

9.6.1. أجهزة الاستشعار الغازية:

وهي تعتبر أجهزة متطورة جداً متناهية في الصغر وتقنية الأغشية الرقيقة تلعب دوراً مهماً في تطور مثل هذه الأجهزة حيث أن أجهزة الاستشعار تطورت بشكل سريع في الآونة الأخيرة والتي ساعدت كثير من العلماء على إتمام تجاربهم العملية الدقيقة. وهذه الأجهزة تقدم أحدث التحديات والفرص في التصوير الجزيئي ورصد العينات المرضية وهذه الأجهزة اكتسبت محط اهتمام المجتمع العلمي بسبب الحاجة المتزايدة للسلامة البيئية والمراقبة الصحية.



الشكل (12.1) جهاز استشعار غازي

الفصل الثاني

الخلية الشمسية

الفصل الثاني

1.2. المقدمة

تعتبر الخلايا الشمسية من أهم الاختراعات التي ظهرت في العصر الحديث والتي تمكن الإنسان بفضلها من تأمين جزء لا بأس به من احتياجاته اليومية للطاقة عن طريق تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية سواء بشكل مباشر أو غير مباشر. تعود فكرة الخلايا الشمسية إلى عام 1939 عندما اكتشف العالم الفرنسي (إدموند بكوريل) أنه في حال تعرض قطب كهربائي للضوء ومغموس في محلول موصل ينتج تيار كهربائي، وبعد ذلك وفي عام 1941 تمكن المخترع الأمريكي (روسل أوهل) من إنتاج أول خلية شمسية مصنوعة من السليكون. وتصنع الخلايا الشمسية في العادة من السليكون المعالج كيميائياً، ويتم ترتيب طبقات من هذه المادة ومواد أخرى والأسلاك الناقلة للتيار الكهربائي ضمن نظام هندسي خاص، وفي حال تعرض هذه الخلية للضوء العادي أو ضوء الشمس فإنه يتحرر منها الكترونات تنتقل عبر الأسلاك الكهربائية ويتم الاستفادة منها فتشغيل بعض الأجهزة الكهربائية أو استغلالها في إضاءة المصابيح الكهربائية. وتم استغلال الخلايا الشمسية (الكهروضوئية) في الكثير من مناحي الحياة اليومية كما تم استغلالها بشكل كبير لإنتاج الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل الأقمار الصناعية في الفضاء وتشغيل السفن الفضائية التي تم إطلاقها لاكتشاف الكواكب والأجرام الكونية. وتعد هذه الخلايا مصدراً مثالياً لإنتاج الطاقة الكهربائية لكونها لا تتسبب في إحداث أي ضرر بيئي ولا ينتج عنها مخلفات وغازات كيميائية سامة، ومن هنا فقد تم دعم الأبحاث الخاصة بتطويرها واستغلالها بشكل واسع في شتى الميادين وفي شتى أنحاء العالم [1].

ولكن كلفة إنتاج الخلايا الشمسية المرتفعة أصبحت أهم العوائق أمام التوسع في استغلالها ومن هنا فقد أدرك العلماء أن التحدي الأكبر هو زيادة القدرة التحويلية للخلايا الشمسية، أي قدرتها على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية وتخفيض كلفة إنتاجها، وتدلل بعض الدراسات أنه قد تم تحقيق مستوى جيد لنسبة التحويل المطلوبة بلغت 32,3% من الطاقة الشمسية الداخلة إلى تيار كهربائي. ويعتقد الكثير من الباحثين انه يمكن الوصول إلى نسبة تحويل قد تصل إلى 40% إن مثل هذه الزيادة في القدرة التحويلية للخلايا الشمسية سينجم عنها تقليل حجم هذه الخلايا وزيادة مقدار الطاقة الكهربائية الناتجة عنها وبالتالي تقليل كلفة إنتاجها

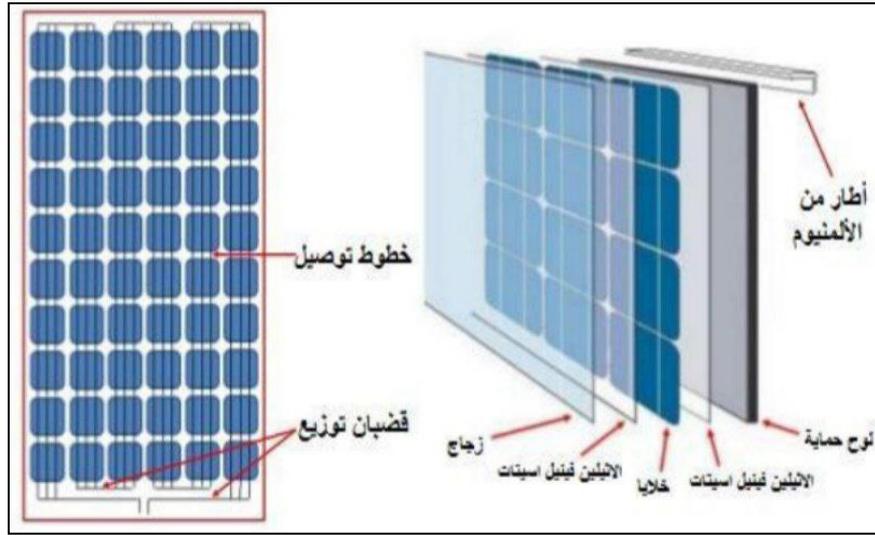
وهذا بدوره سيلعب دورا هاما في الحد من ظاهرة الاحتباس الحراري العالمية ومكافحة التلوث البيئي والذي أصبح الخطر الأول الذي يتهدد الإنسانية في الوقت الراهن. بيل" تنتج عمليا الخلية الضوئية الأولى لقد تم تطوير الخلية الضوئية الحديثة في عام 1954 في مختبرات بيل. وقد وضعت لأول مرة خلية ذات كفاءة عالية للطاقة الشمسية من قبل شابين داريل، كالفين فولر ساوثير وجيرالد بيرسون السيليكون. في البداية، وضعت الخلايا لغايات ألعاب PN في عام 1954 باستخدام موزع تقاطع الأطفال واستخدامات أخرى ثانوية، حيث أن تكلفة الكهرباء التي تنتجها كانت عالية جدا، نسبياً. وتم انقاذ الخلايا الشمسية من الغموض من خلال اقتراح لإضافتها إلى القمر الصناعي "فانغورد"، الذي أطلق في عام 1958.[2]

2.2. الخلية الشمسية

الخلية الشمسية أو الخلية الفولتية الضوئية (Photovoltaics PV) أو الخلايا الفولت ضوئية فمن خلالها يتم تحويل اشعة الشمس مباشرة لكهرباء، عن طريق استخدام تقنية الحالة الصلبة التي تستخدم فيها خلايا مصنوعة من مادة السليكون (الرمل) المتوفرة فوق الأرض. وتستخدم مواد عديدة أخرى في الخلايا الشمسية لكن أساسها مادة السليكون . وبصفة عامة مواد هذه الخلايا إما مادة بلورية سميكة كالسليكون البلوري Crystalline Silicon أو مادة غير بلورية رقيقة كمادة السليكون اللابلوري أو مواد مترسبة كطبقات فوق شرائح من شبه الموصلات تتكون من أرسنيد (زنيخيد) الجاليوم Gallium Arsenide GaAs وتعتبر طاقاتها شكلا من الطاقة الحميدة والنظيفة لأنه لايسفر عن تشغيلها نفايات ملوثة ولا ضوضاء ولا إشعاعات ولا حتي تحتاج لوقود لأن هذه الخلايا الضوئية تعمل في صمت. لكن كلفتها الابتدائية مرتفعة مقارنة بمصادر الطاقة الأخرى والخلايا الشمسية تولد كهرباء مستمرة و مباشرة (كما هو في البطاريات السائلة والجافة العادية).[3]

شدة تيارها يعتمد علي سطوع ومستوي أشعة الشمس وكفاءة الخلية الضوئية نفسها. يمكن لهذه الخلايا الشمسية إعطاء مئات الفولت من التيار الكهربائي المستمر DC لو وصلت هذه الخلايا علي التوالي. كما يمكن تخزينها الفولتية الناتجة في بطاريات الحامضية المصنوعة من الرصاص أو القاعدية المصنوعة من معدني النيكل والكادميوم ويمكن تحويل التيار المستمر DC إلي تيار متناوب AC بواسطة العاكسات ال Inverter للاستعمال وإدارة الأجهزة الكهربائية

المنزلية والصناعية العادية. تعني كلمة الفولتية الضوئية توليد الكهرباء مباشرة من الضوء عن طريق الخلايا الشمسية المصنوعة من مواد شبه موصلة كالسيليكون الذي يولد تيارا كهربائيا عند تعرضه لضوء الشمس وأكبر محطة توليد كهرباء تعمل حاليا بالخلايا الشمسية توجد في سهل كاريزا بكاليفورنيا وتعطي 5 ميغاواط وتوجد محطات في ألمانيا تولد 10 ميغاواط والخلايا الشمسية تعمل حاليا فوق الأقمار الصناعية منذ عام 1960 وحتى اليوم وفي جميع الظروف المناخية حتي في الأيام التي تحتجب فيها أشعة الشمس وذلك عن طريق تخزين الطاقة المولدة بالبطاريات لكن كفاءتها الكلية في توليد الكهرباء تحسب على اساس الايام المشرقة والايام المغيمة والتي تسبب كثرتها في ان تقل كفاءة المنظومة من ميزتها أنها ليس بها أجزاء متحركة تتعرض للعطل لهذا تعمل فوق الأقمار الصناعية بكفاءة عالية، ولاسيما وأنها لا تحتاج لصيانة أو إصلاحات أو وقود حيث تعمل في صمت الا ان اتساخ الخلايا الضوئية نتيجة التلوث او الغبار يؤدي إلى خفض في كفاءتها مما يستدعي تنظيفها على فترات[4].

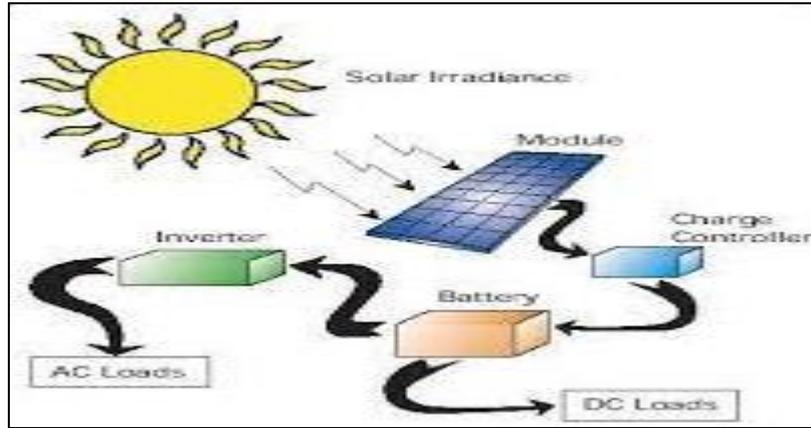


الشكل (1.2) مكونات الخلية الشمسية.

3.2. تركيب الخلية الشمسية

ان الالكترونات تنتقل الى الفجوات وتتحد معها ولكن لا تستمر عملية الانتقال هذه الى ان تتحد كل الالكترونات مع كل الفجوات وتتوقف العملية لان ما يحدث هو ان تنتقل المجموعة

الاولى من الالكترونات وتتحد مع الفجوات يشكل حاجز عند المنطقة التي تفصل النوع الموجب عن السالب ويمنع هذا الحاجز المزيد من الالكترونات الأخرى في النوع السالب الاتحاد مع فجوات النوع الموجب وينتكون عن المنطقة بين النوعين مجال كهربائي. وهذا المجال الكهربائي يعمل عمل الدايبود diode حيث يسمح بمرور الالكترونات من الجزء الموجب الى الجزء السالب ولكن ليس العكس. وبهذا يكون لدينا في كل خلية فوتو فولتيك مجال كهربي يحدد اتجاه حركة الالكترونات، عندما يسقط الضوء المكون من فوتونات عند طاقة معينة على الخلية الفوتو فولتيك فانه يعمل على تحرير الكترون وفجوة بالقرب من الحاجز حيث المجال الكهربي فيتم تمرير هذا الالكترون في اتجاه الجزء السالب تحت تأثير المجال في حين تنتقل الفجوة الى الجزء الموجب تحت تأثير المجال وعندما يتم توصيل طرفي الخلية النوع السالب طرف والموجب طرف بدائرة خارجية فان هذه الالكترونات سوف تتحرك لتعود لموضعها الاصلي وكذلك الفجوات وتعتبر تلك الحركة حركة التيار الذي نريد. يتم وضع طبقة رقيقة جدا على سطح شريحة السيلكون وظيفتها منع انعكاس الضوء وبعد ذلك نضع شريحة زجاجية وظيفتها حماية الخلية^[2].



الشكل (2.2) تركيب الخلية الشمسية.

4.2. الألواح الشمسية

الألواح الشمسية هي المكون الأساسي في الأنظمة الشمسية التي تقوم بتوليد الكهرباء، تصنع الخلايا الشمسية من مواد شبه موصلة مثل السيلكون تمتص الضوء من الشمس، السيلكون بطبيعته لامع جدا، فمن اجل الاستفادة من الفوتونات ومنعها من الانعكاس بعيدا عن الخلية يتم تطبيق طلاء مضادة للانعكاس للخلايا، يتم وضع غطاء زجاجي اعلى اللوح الشمسي لحماية PV

cell مادة السيليكون من العوامل الخارجية والخدش، يتكون اللوح من مجموعة من الخلايا المتصلة مع بعضها البعض في اطار واحد وموصلة بينها [3].

1.4.2. مميزات اللوح الشمسي

- الطاقة الشمسية مستدامة ومتجددة اي انها لا تنفذ، فهي مصدر طبيعي من الشمس.
- الألواح سهلة التركيب ولا تحتاج الى مهارات او معدات خاصة ذلك خلافا لمحطات الرياح التي تتطلب إمكانيات تنفيذية خاصة.
- ممكن تثبيت الالواح الشمسية فوق أسطح المباني.
- مكن استخدامها في المواقع النائية التي لا تصلها الكابلات والتوصيلات الكهربائية.
- هي أفضل وسيلة للحصول على الكهرباء في الصحاري والبحار والمرتفعات الجبلية.
- تستطيع ان تلبي حاجة الاقمار الصناعية للكهرباء .
- يتم تركيبها مرة واحدة ولا تحتاج الى صيانة عدا نظافتها للمحافظة على استمرارية عملها.
- لا تسبب ازعاج او ضرر بيئي عند استخدامها في المباني والمنازل.
- تعتبر مصدر للكهرباء يمكن عبرها الاستغناء عن الفواتير العالية للكهرباء.

2.4.2. عيوب اللوح الشمسي

- التكلفة الأولية لشراء النظام عالية الى حد ما. يشمل ذلك دفع ثمن الالواح والانفرتر والبطاريات والاسلاك وهيكل التثبيت. هذه التكلفة عائق امام محدودي الدخل الذين يحصلون الآن على الكهرباء المدعومة من الحكومة ولا يحتاجون الى نظام شمسي يكلف الآلاف.
- كفاءة النظام تقل في أيام المطر والغيوم. لذلك في النظم المستقلة عن الشبكة يجب عمل بطاريات تخزين تسع ثلاث أو أربع أيام لتفادي انقطاع التيار خلال سوء الأحوال

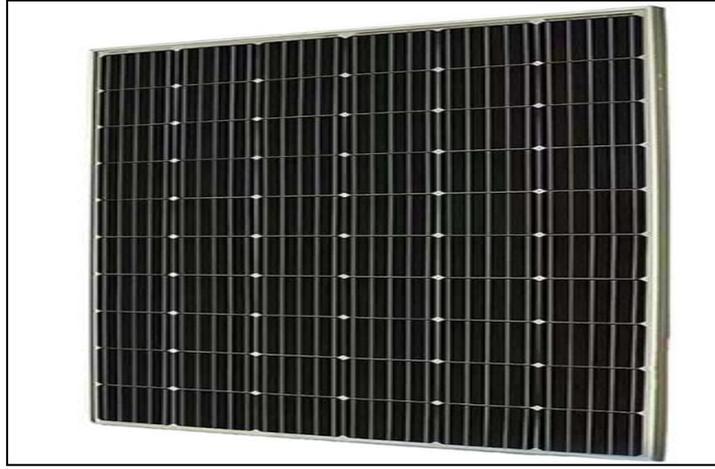
الجوية. على الرغم ان عدد أيام الغيوم في الدول العربية قليل ولكن تصميم النظام يجب ان يضع في الاعتبار عدم انقطاع التيار الكهربائي نهائيا.

- تخزين الطاقة في البطاريات مكلف وعمرها الافتراضي قليل بالنسبة الى سعرها. يتم شحن البطاريات خلال النهار وتستخدم الطاقة ليلا. في نظم الري يتم استخدام الطاقة الشمسية خلال النهار فقط والاستغناء عن بطاريات التخزين. فأصبحت الطلبات الشمسية ناجحة اقتصاديا في المناطق الريفية مثل الواحات في مصر والهند التي أصبحت دولة رائدة في هذا المجال.
- بالنسبة للاستخدام المنزلي قد لا يتطلب التركيب مساحة كبيرة للنظام لتكون فعالة في توفير الكهرباء على أساس ثابت بالتالي عنصر المساحة وتكلفتها له وزن كبير في دراسة جدوى النظام الشمسي داخل المدن الكبرى والمواقع ذات أسعار الأراضي المرتفعة.

5.2. انواع الخلايا الشمسية

1.5.2. الخلايا البلورة احادية السيلكونية

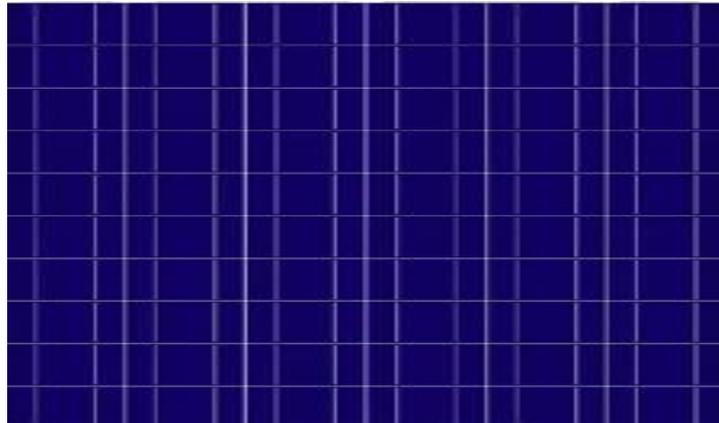
معظم الخلايا الفولط ضوئية المصنعة لغاية فترة قريبة كانت من السيلكون النقي احادي البلورة (crystal single) خالي من الشوائب، السيلكون متعدد البلورية بطريقة متقدمة وعالية السعر وكفاءتها حوالي 16% وبالرغم من كفاءتها العالية التي تتميز بها الخلية الاحادية البلورية فان سعرها مرتفع وذلك لنفائها وتحتاج الى عمال مهرة، وحاليا تصنع الخلايا من سيلكون اقل نقاوة وهذه الخلايا تكون رخيصة وكذلك التكلفة ولكن كفاءتها اقل وعمرها اقل [5].



الشكل (3.2) الخلايا البلورة احادية السيلكونية [4].

2.5.2. بلورات السيلكون المتعددة البلورة

يتكون السيلكون متعدد البلورات من حبيبات صغيرة من البلور الاحادي، بالرغم من كون الخلايا الكهروضوئية شمسية المتعددة البلورات ارخص واسهل صنعا من الخلايا احادية البلورة بسبب نقاوة اقل للمادة الاولية الا انها اقل كفاءة، وذلك كون حاملات الشحنة الالكترونيات والثقوب المولدة من قبل فوتونات الاشعاع الشمسي يمكن ان تتجمع على الحدود بين حبيبات داخل السيلكون المتعدد البلورات وقد وجد ان كفاءة هذه الخلايا تتحسن عند عملية تصنيع المادة بطريقة تكون فيها الحبيبات كبيرة الحجم ويتم ذلك بتبريد السيلكون المذاب ببطء وتوجه الخلايا من الاعلى للأسفل ويساعد ذلك في السماح للإشعاع الشمسي بالتغلغل عميقا من خلال الحبيبات وتبلغ كفاءتها تقريبا 13% [1].



الشكل (4.2) بلورات السيلكون المتعددة البلورة.

3.5.2. الخلايا الشمسية العشوائية

الخلايا السيلكونية (Si - A) تصنع بطريقة أرخص من غيرها، حيث تكون ذرات السيلكون فيها اقل ترتيباً من النوع البلوري، ففي السيلكون العشوائي لا ترتبط كل ذرة ارتباطاً كاملاً مع الذرات المجاورة، إنما تترك ما يسمى بالرابط المتدلي وتستطيع بذلك امتصاص الإلكترونات بالإضافة إلى إجراء عملية الطلاء. يتضح من ذلك أن النوع الأول يصنع من خلايا قطعت من بلورة السيلكون والثاني من كشط بلورة السيلكون والثالث من ترسبات السيلكون على شكل طبقات [6].

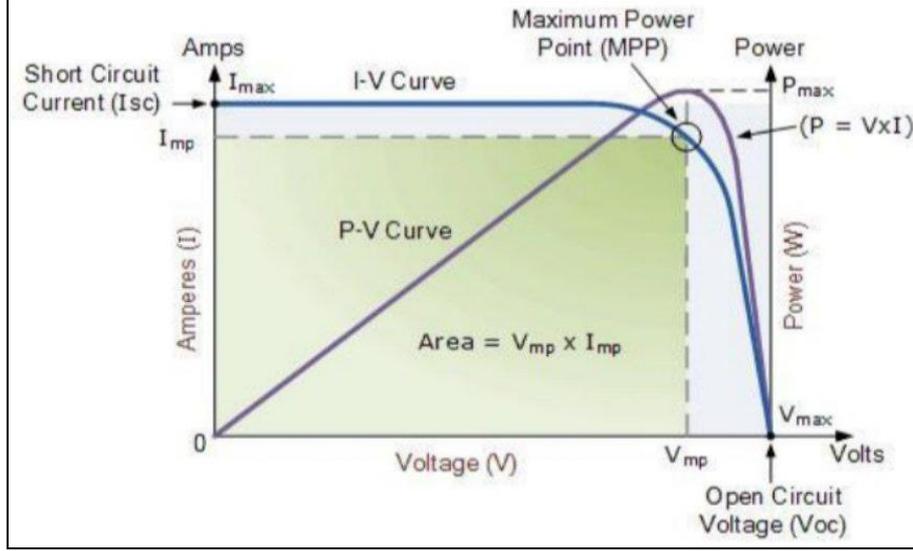
6.2. كفاءة الخلايا الشمسية

تعتبر كفاءة التحويل من أهم خصائص اللوحات الشمسية (اللوحات الكهروضوئية PV) وتقوم الشركات العالمية بصرف مليارات الدولارات سنوياً لتحسين كفاءة منتجاتها ولكن ماذا نعني بكفاءة تحويل الخلية. تعرف كفاءة تحويل الخلية بأنها نسبة الطاقة الواصلة مع أشعة الشمس التي يستطيع الفعل الكهروضوئي تحويلها إلى طاقة كهربائية ويتم حساب الكفاءة بتقسيم الطاقة الكهربائية الناتجة عن التحويل على طاقة الضوء المسلط على الخلية [5].

كفاءة تحويل الخلية = الطاقة الكهربائية الناتجة عن التحويل طاقة الضوء المسلط على الخلية

تقنياً وببساطة، يقوم الفوتون الواصل إلى طبقة الامتصاص بتحفيز حاملات الشحنات السالبة والموجبة اللوحات الشمسية ذات الكفاءة العالية تتطلب طاقة أقل من الضوء لكي يتحرر إلكترون سالب وثقب موجب ويستطيع الإلكترون العبور عبر المنطقة العازلة إلى الرقاقة السالبة وبالتالي إذا سلطنا نفس كمية الضوء على لوحين كهروضوئيتين بكفاءتين مختلفتين واحدة بكفاءة 20% والأخرى بكفاءة 15% فإن المتر المربع من لوحة الـ 20% يستطيع تحرير إلكترونات أكثر وبالتالي توليد طاقة كهربائية أكبر من متر مربع من اللوحة الأخرى بكفاءة 15% يمكن حساب كفاءة الخلايا الشمسية، تعد خطوة تحديد كفاءة الخلايا الشمسية في غاية الأهمية عند تصميم النظام الشمسي، حيث تعبر عن مقياس لكمية الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الخلايا الشمسية لكي يتحول إلى طاقة كهربائية. ومع التطور المتتالي خلال السنوات الماضية وحتى هذه اللحظة ارتفعت كفاءة الألواح من 15% إلى 22.8% وهي أعلى نسبة خلال السنوات

الأخيرة قد وصلت إليها بعض الشركات المتخصصة في تصنيع الخلايا أصبحت هناك ألواح شمسية بقدرة 400 واط وبكفاءة 22.8% تم تصنيعها بواسطة شركة صن باور SUN POWER" فكلما كانت الكفاءة والقدرة أعلى مع الحجم الأقل مساحة كلما كان ذلك أفضل [6].



الشكل (5.2) منحنى كفاءة الخلايا الشمسية.

بالإضافة إلى كفاءة أداء الخلية الشمسية نفسها أي المعتمدة على المواد و طريقة التصنيع وما ذلك، تعتمد الكفاءة على طيف وكثافة ضوء الشمس الساقط ودرجة حرارة الخلية الشمسية لذلك يجب التحكم بعناية في الظروف التي يتم بموجبها قياس الكفاءة من أجل مقارنة أداء جهاز بأخر تقاس الخلايا الشمسية الأرضية تحت ظروف AM1.5 وعند درجة حرارة 25 درجة مئوية وتقاس الخلايا الشمسية المعدة للاستخدام في الفضاء تحت ظروف AMO يتم تحديد كفاءة الخلية الشمسية على أنها جزء من الطاقة الشمسية المعرضة لها والتي يتم تحويلها إلى كهرباء [4].

كفاءة الخلية أو الخلايا الكهروضوئية (%) = قدرة الخلية أو الخلايا ÷ (مدخل إشعاع الضوء $W/m^2 \times$ مساحة الخلايا بالمتر مربع $100 \times m^2$)

قانون حساب كفاءة الخلايا الشمسية

قدرة الخلية الشمسية
Pmax

Efficiency (%) = $\frac{P_{max}}{(Area \times 1000W/m^2)} \times 100$

الكفاءة
الطاقة الإشعاع الشمسي المساحة

* at STC = Irradiance 1000W/m²
- Pmax = Max panel power (W)
- Area = Panel area (m²)

7.2. العوامل المؤثرة على كفاءة الخلية الشمسية

هناك عدة عوامل مؤثرة على كفاءة الخلية الشمسية:

1.7.2. تيار الدائرة القصيرة

يؤثر تيار الدائرة تأثيراً مباشراً على كفاءة الخلية الشمسية، حيث أن زيادة تيار الدائرة القصيرة يؤدي إلى زيادة في كفاءة الخلية الشمسية عندما يقل عرض الفجوة الممنوعة فإن كثافة تيار الدائرة القصيرة يزداد. ومن العوامل التي تؤدي إلى حدوث خسائر في ISC هي:

1. سطح السليكون العاكس لقسم كبير من الضوء الساقط عليه.
2. عند عمل الأقطاب المعدنية لكل من جانبي نوع n- ونوع p- ينتج شبكة معدنية على سطح الخلية المعرضة لضوء الشمس وهذا التركيب المعدني يمنع % (5 - 15) من الضوء الساقط من الدخول إلى الخلية.
3. تستطيع بعض الفوتونات التي تمتلك طاقة معينة أن تتفقد إلى الخارج إذا كان سمك الخلية غير كافٍ.

2.7.2 فولتية الدائرة المفتوحة

عندما تزداد فولتية الدائرة المفتوحة تزداد كفاءة الخلية الشمسية، كما أن فولتية الدائرة المفتوحة تزداد عندما قيم R_s وقيم "نقل". أن شدة تيار التشيع تحدد أساساً بواسطة فجوة الطاقة للمادة ودرجة الحرارة حيث 10 نقل و V_{oc} تزداد مع زيادة فجوة الطاقة أو تقليل درجة الحرارة. عند سقوط الفوتون بطاقة أعلى من طاقة الفجوة المحصورة فإنه يولد زوج (الكترن - فجوة) التي سرعان ما تتفصل بطاقة مساوية لطاقة الفجوة المحصورة فقط ومن العوامل التي تؤدي إلى حدوث خسائر في V_{oc} هي: عملية إعادة الاتحاد في شبه الموصل حيث أن أوطا إعادة اتحاد يعني أعلى فولتية V_{oc} .

3.7.2 عامل الملء (F.F) Fill Factor

يعرف عامل الملء بأنه النسبة بين القدرة العظمى الخارجة وحاصل ضرب فولتية الدائرة المفتوحة في تيار الدائرة القصيرة.

4.7.2. تأثير درجة الحرارة

درجة الحرارة تأثير كبير على كفاءة الخلية الشمسية، حيث يتزايد التيار مع زيادة درجة الحرارة أما فولتية الدائرة المفتوحة وعامل الملء (F.F) فيتناقصان مع زيادة درجة الحرارة والسبب في ذلك يعود الى الزيادة الحاصلة في تيار الاشباع (Saturation Current) ان تأثير درجة الحرارة على فولتية الدائرة المفتوحة يكون أكثر من الزيادة الحاصلة في تيار الدائرة القصيرة وهذا يؤدي الى نقصان الكفاءة.

8.2. طرق تحسين أداء الخلايا الشمسية

هناك عدة طرق لتحسين أداء الخلايا الشمسية [6]:

1.8.2. إجراء تغيير في معاملات الخلية الشمسية

يمكن تطوير كفاءة أداء الخلايا الشمسية السيليكونية بتقليل الانعكاس عن السطح العلوي للخلية ويتم ذلك بوضع طبقة مفردة من غطاء غير عاكس من مادة أو طبقة ثنائية عاكسة من T103 أو من A1203 فتصبح كفاءة أدائها 17%. وهناك ذات كفاءة 24.7% ، إذ يحتوي سطحها العلوي على الأهرامات المقلوبة ذات قاعدة بعرض 10 am ولها خاصية خفض قيمة الانعكاسية عن السطح العلوي وكسر الإشعاع إلى داخل الخلية لينتقل بصورة مائلة خلالها وميزة أخرى للهرم هي امتصاصه للضوء في السطح العلوي الفعال للخلية. وقد تم الحصول من خلايا الاتصال الخلفي ذات السمك 150 um والعمر لطويل على كفاءة أداء 20%. ان العمر الطويل هذا يقلل من ضياع الحاملات بواسطة اعاده الاتحاد.

2.8.2 استخدام المركبات الشمسية

إن بحوث الفوتو فلطائيات تطمح دوماً أن تخفض كلفة إنتاجية الكهرباء باستخدام مواد رخيصة لتجميع أشعة الشمس الساقطة وتوجيهها إلى الخلية الشمسية ومنها استخدام العدسات وتقنيات أخرى بصرية. فالمركبات هي أجزاء بصرية تزيد من كمية الإشعاع الساقط على سطح ما كخلية

شمسية أو ماص حراري وتعد المرايا وعدسات فرنيل أهم ما يستخدم لهذا الغرض إذ تستخدم العدسات لزيادة التركيز وليس للحصول على صورة معينة أو تستخدم المرايا لهذا الغرض أو كلاهما معاً. إن تركيز الإشعاع الضوئي يتحقق أما بـ imaging - optics أو Nonimaging optics - حيث ينقل النوع الأول الضوء إلى نقطة واحدة كالبؤرة مثلاً عند استخدام العدسات أما النوع الثاني فينقل السيل الإشعاعي من منطقة معينة إلى أخرى إن المركبات أما إن تكون ثابتة لا تحتاج إلى معقبات لأثر الشمس بحيث تكون ذات زوايا استقبال واسعة ولها القابلية على جمع وتركيز الأشعة المباشرة والمنتشرة والخلايا المناسبة في هذه الأنظمة هي خلايا السليكون خلايا السليكون التقليدية أو تكون معقبة وذات نسبة تركيز أعلى من الثابتة وذات كفاءة أفضل لقد وضع العديد من التصاميم للمركبات الشمسية، فالمركبات يمكن أن تكون عدسات عاكسة أو كاسرة للضوء ويمكن أن تكون بسطوح أسطوانية أو دورانية أو مستوية، والمستقبلات يمكن أن تكون محدبة أو مسطحة أو مقعرة، ويمكن أن تكون مغطاة أو غير مغطاة، وتوجد طرق للتوجيه لزيادة نسب التركيز حيث تتنوع في أربع فئات، وفي مجال التصميم الواسع نجد أنه من الصعب وضع تحليلات عامة قابلة للتعميم على كل أنواع المركبات تعطي اللواقط الغير مصورة نسب تركيز منخفضة (يقصد بها اللواقط غير المنتشرة والتي لم يتم انتاجها عملياً إنما مازالت في مرحلة الدراسة)، وتعطي اللواقط الخطية المصورة نسب تركيز متوسطة.

9.2. الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة

الخلية الشمسية ذات الأغشية الرقيقة هي عبارة عن خلية شمسية من الجيل الثاني يتم تصنيعها عن طريق ترسيب طبقة رقيقة واحدة أو أكثر ، أو طبقة رقيقة من المواد الضوئية على ركيزة مثل الزجاج أو البلاستيك أو المعدن. يتم استخدام الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة بشكل تجاري في العديد من التقنيات ، بما في ذلك تيلوريد الكاديوم (CdTe) ، و diselenide ، غالسيوم الإنديوم النحاسي (CIGS) ، والسيليكون الرقيق غير المتبلور (TF-Si). وتتراوح سماكة الفيلم من بضعة نانومترات (nm) إلى عشرات من الميكرومترات (μm) ، وهي تقنية أرق بكثير من التقنية المتنافسة للأغشية الرقيقة ، وهي الخلية الشمسية التقليدية المتقنة من الجيل الأول (c-Si) ، والتي تستخدم رقائق تصل إلى 200 ميكرون. هذا يسمح لخلايا الفيلم الرقيقة أن تكون مرنة ، وخفض الوزن. يتم استخدامه في بناء الخلايا الكهروضوئية المتكاملة وكمادة شبه

زجاجية فوتوضوئية يمكن لصقها على النوافذ. تستخدم التطبيقات التجارية الأخرى الألواح الشمسية للأغشية الرقيقة الصلبة (المحصورة بين طبقتين من الزجاج) في بعض أكبر محطات الطاقة الكهروضوئية في العالم. ولطالما كانت تكنولوجيا الأغشية الرقيقة أرخص ولكن أقل كفاءة من تقنية السي سي التقليدية. ومع ذلك ، فقد تحسنت بشكل ملحوظ على مر السنين. إن كفاءة الخلايا المعملية لـ CdT و CIGS تتجاوز الآن 21 في المائة ، متفوقة بذلك على السيليكون متعدد البلورات ، المادة المهيمنة المستخدمة حالياً في معظم الأنظمة الكهروضوئية الشمسية 23،24 اختبار العمر المعجل لوحدة الغشاء الرقيق تحت ظروف المختبر يقاس بتدهور أسرع إلى حد ما بالمقارنة مع PV التقليدية ، في حين من المتوقع عموماً عمر 20 عاماً أو أكثر وعلى الرغم من هذه التحسينات، لم تصل حصة السوق من الأغشية الرقيقة إلى أكثر من 20 في المائة في العقد الأخيرين، وقد تراجعت في السنوات الأخيرة إلى حوالي 9 في المائة من المنشآت الكهروضوئية في جميع أنحاء العالم في عام 2013. وغالباً ما تُصنّف تقنيات أخرى للأغشية الرقيقة لا تزال في مرحلة مبكرة من الأبحاث الجارية أو محدودة التوافر التجاري كخلايا فوتوضوئية ناشئة أو الجيل الثالث ، وتشمل الخلايا الشمسية العضوية والمتحسنة الصبغية والبوليمر ، فضلاً عن نقطة الكم والنحاس. الزنك كبريتيد القصدير، والخلايا الشمسية.[2]

تقلل تقنيات الأغشية الرقيقة من كمية المادة النشطة في الخلية. معظم المواد النشطة شظيرة بين اثنين من الزجاج. وبما أن الألواح الشمسية المصنوعة من السيليكون لا تستخدم سوى جزء واحد من الزجاج ، فإن الألواح الرقيقة تكون مثقلة بما يقرب من ضعف ألواح السيليكون البلورية ، على الرغم من أنها ذات تأثير إيكولوجي أصغر (يتم تحديده من تحليل دورة الحياة). غالبية لوحات الفيلم لديها كفاءات تحويل أقل من 2-3 نقاط مئوية من السيليكون البلوري. الكيلميوم تيلورايد (CdTe) ، سيلينيد جاليوم الإنديوم النحاسي (CIGS) والسيليكون غير المتبلور هي ثلاثة تكنولوجيا رقيقة تستخدم غالباً للتطبيقات الخارجية.[5]

الفصل الثالث

الخلايا الشمسية المكونة من أغشية

رقيقة

الفصل الثالث

تعد فيزياء الأغشية الرقيقة من الفروع المهمة لفيزياء الحالة الصلبة والتي تبلورت عنها وأصبحت فرعاً قائماً بحد ذاته، حيث تمتاز الاغشية الرقيقة بخصائص ومميزات أخرى، مما دفع الباحثين إلى إيجاد عدة طرق لتحضير هذه الطبقات، وبعد تطور البحث العلمي تطور طرق تحضير الأغشية الرقيقة.

1.3. الخلايا الشمسية المكونة من أغشية رقيقة

3. 1. 1. وصف الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة:

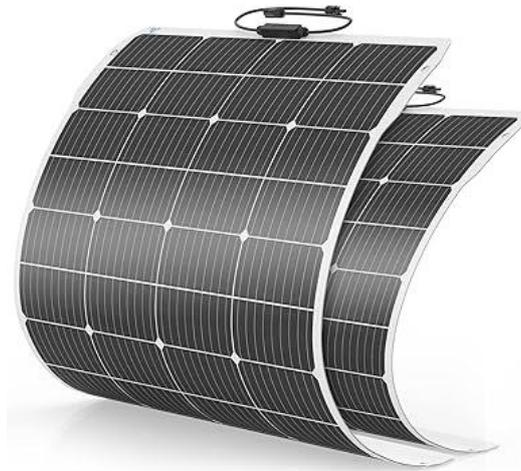
الخلية الشمسية ذات الأغشية الرقيقة مختلفة عن الخلايا السيلكونية البلورية حيث يتم ترسيب طبقات رقيقة من أشباه الموصلات على دعامة، هذه الدعامة ممكن أن تكون معدن أو بلاستيك أو زجاج. تتراوح مجموع سمك الطبقات لأشباه الموصلات هذه بين نانومتر إلى 20 مايكرومتر.

ويصنف هذا النوع إلى ثلاث أقسام رئيسية هي [7]:

1. صنف السيلكون غير المتبلور (a-Si)

2. صنف تيليلور الكاديوم (CdTe)

3. صنف الككوبيرات



شكل (1.3) غشاء رقيق للخلية الشمسية.

هذا النوع من الخلايا الكهروضوئية لها مستقبل واعد لأنها اقل تكلفة من الخلايا البلورية وأسهل من الناحية التصنيعية، ولكن مردودها ما زال ضعيفا مقارنة بالخلايا الشمسية للجيل الأول.

2.1.3. أنواع الخلايا الشمسية المكونة من أغشية رقيقة

تعتبر الخلايا الشمسية (المكونة من الأغشية الرقيقة) هي خلايا من الجيل الثاني، وتقسّم بحسب المادة المصنوعة منها إلى أنواع منها:

1. تلوريد الكاديوم (Cadmium telluride)
 2. سيلينييد النحاس الإنديوم الغاليوم (Copper indium gallium selenide)
 3. السيليكون غير المتبلور (Amorphous silicon)
 4. السيليكون متعدد البلورات على الزجاج (Polycrystalline silicon on glass)
 5. الخلية الترادفية باستخدام $a\text{-Si}/\mu\text{c-Si}$ (Tandem-cell using $a\text{-Si}/\mu\text{c-Si}$)
- وغيرها العديد من الأنواع.

1. تلوريد الكاديوم (Cadmium telluride)

ومن بين المواد المستخدمة في الخلايا الصلبة، يحتل تيلوريد الكاديوم مكانة خاصة نظراً لعرض نطاقه شبه الأمتل البالغ 1.5 فولت عند 300 كلفن. ويفضل النطاق المباشر لـ CdTe التصنيع طبيعة هياكل حاجز الأغشية الرقيقة [8] [9]. ومع ذلك، على الرغم من أنه من الممكن أن تنمو مع CdTe الموصلية n و p، والخلايا الشمسية تقاطع pn من تيلورايد الكاديوم غير عملية بسبب لامتناس عالي وإعادة التركيب. حواجز شوتكي ليست مفيدة أيضاً لأنها تشكل العديد من المعادن حواجز منخفضة نسبياً مع تيلورايد الكاديوم من النوع p و n [10].

في ظل هذه الظروف، يمكن تحقيق المرونة الرئيسية في تصميم الأجهزة من أجل الترابط غير المتجانس. من أبرزها هياكل الأغشية الرقيقة لـ p-CdTe/n-CdS. تماماً من السهل الحصول على خلايا شمسية بكفاءة $\eta \approx 16\%$ ، ولكن هناك الكثير من أعمال تحسين الجهاز تاريخ الخلايا الشمسية المكونة من أغشية رقيقة.

المطلوبة لتحقيق حد الأداء النظري وهو 28% [11]. أحد الأسباب الرئيسية لتقليل كفاءة الخلايا الشمسية هو التركيز الكبير للعيوب NS عند حدود الوصلة الناتجة عن عدم تطابق المعلمات البلورية والحرارية لمكونات الجهاز [12]. لذلك، من المهم البحث عن أفضل المواد خاصة لطبقة النوافذ واسعة النطاق وتحسين إمكانية تكرار التكنولوجيا التي تهدف إلى إنشاء هياكل مغايرة ذات حدود تقاطع مثالية.

2. سيلينيد النحاس الإنديوم الغاليوم (Copper indium gallium selenide)

تجمع الوحدات الشمسية القائمة على الكالكوبيرايت بين مزايا تكنولوجيا الأغشية الرقيقة وكفاءة واستقرار خلايا السيليكون البلورية التقليدية. لذلك يُعتقد أن الوحدات المعتمدة على الكالكوبيرايت يمكن أن تستحوذ على جزء كبير من نمو سوق الخلايا الكهروضوئية بمجرد بدء الإنتاج الضخم الحقيقي [KLENK]. الكالكوبيرايت عبارة عن مركبات تعتمد على استخدام عناصر من المجموعات الأولى والثالثة والسادسة من الجدول الدوري وتشمل ثنائي سيلينيد الإنديوم النحاسي (CuInSe₂) وثنائي سيلينيد الغاليوم النحاسي (CuGa_{1-x}In_xSe₂) وثنائي كبريتيد الإنديوم النحاسي (CuInS₂). يشير أحدهم إلى هذه الخلايا باسم الخلايا الشمسية Cl(G)S. كما هو الحال مع السيليكون غير المتبلور وتيلوريد الكاديوم، تحتوي هذه المواد على فجوات نطاق طاقة مباشرة ومعاملات امتصاص بصرية عالية للفوتونات ذات طاقات أكبر من فجوة نطاق الطاقة مما يجعل من الممكن لبضعة ميكرونات من مادة الطبقة الممتصة امتصاص معظم الضوء الساقط [MILES] [13].

3. السيليكون غير متبلور (Amorphous Silicon Thin Film)

السيليكون الأمورف (a-Si) هو شكل غير بلوري، من أشكال السيليكون، وهو تقنية الأغشية الرقيقة الأكثر تطوراً حتى الآن. السيليكون الرقيق الأغشية هو بديل للسيليكون البلوري التقليدي. بينما تم تطوير خلايا الأفلام الرقيقة المستندة إلى الكالكوجينيد CdTe و CIS في المختبر بنجاح كبير، إلا أن هناك اهتماماً صناعياً لا يزال بخلايا الأفلام الرقيقة المستندة إلى السيليكون. تعاني الأجهزة المستندة إلى السيليكون من مشاكل أقل من نظرائها المستندة إلى CdTe و CIS مثل السمية ومشاكل الرطوبة مع خلايا CdTe وانخفاض معدلات التصنيع لـ CIS بسبب تعقيد

المواد. بالإضافة إلى ذلك، نظرًا للمقاومة السياسية لاستخدام المواد غير "الخضراء" في إنتاج الطاقة الشمسية، لا توجد علامة استهجان في استخدام السيليكون القياسي.

تتم صناعة هذا النوع من الخلايا الرقيقة الأفلام بشكل أساسي باستخدام تقنية تسمى الترسيب الكيميائي بالبخار المعزز بالبلازما. وتستخدم خليطًا غازيًا من السيلان (SiH_4) والهيدروجين لترسيب طبقة رقيقة جدًا بسُمك يبلغ 1 ميكرومتر (μm) من السيليكون على قاعدة، مثل الزجاج، أو البلاستيك، أو المعدن، التي تم تغطيتها بالفعل بطبقة من الأكسيد النافذ للضوء. الطرق الأخرى المستخدمة لترسيب السيليكون الأمورف على قاعدة تشمل تقنيات الترسيب بالرشاش والترسيب الكيميائي بالأسلاك الساخنة. [14]

يعتبر السيليكون الأمورف جذابًا كمادة للخلايا الشمسية لأنه مادة وفيرة وغير سامة. يتطلب معالجته درجة حرارة منخفضة ويتيح إنتاجًا قابلاً للتوسعة على قاعدة مرنة ومنخفضة التكلفة مع توفير كمية قليلة من المادة السيليكونية. نظرًا لفجوة طيفية قدرها 1.7 إلكترون فولت، يمتص السيليكون الأمورف أيضًا مجموعة واسعة جدًا من الطيف الضوئي، والذي يشمل الأشعة تحت الحمراء وحتى بعض الأشعة فوق البنفسجية ويعمل بشكل جيد جدًا في الضوء الضعيف. يتيح هذا للخلايا توليد الطاقة في الصباح الباكر، أو المساء المتأخر وفي الأيام الغائمة والممطرة، على عكس الخلايا الشمسية البلورية، التي تكون أقل كفاءة بشكل كبير عند تعريضها للضوء الساطع وغير المباشر.

ومع ذلك، تعاني كفاءة خلية السيليكون الأمورف من انخفاض كبير يتراوح بين 10 إلى 30 في المئة خلال الستة أشهر الأولى من التشغيل. ويُسمى هذا التأثير بتأثير (Stabler-Wronski) (SWE) - فقدان نموذجي في الإخراج الكهربائي نتيجة للتغيرات في النشاط الضوئي والنشاط الداكن الناجمة عن التعرض المطول لأشعة الشمس. وعلى الرغم من أن هذا التدهور قابل للعكس تمامًا عند التلدين عند أو فوق 150 درجة مئوية، إلا أن خلايا الطاقة الشمسية البلورية التقليدية لا تعاني من هذا التأثير في المقام الأول. [14]

4. السيليكون متعدد البلورات على الزجاج (Polycrystalline silicon on glass)

هناك محاولة جديدة لدمج مزايا السيليكون السائب مع مزايا الأغشية الرقيقة وهي السيليكون متعدد البلورات الرقيق على الزجاج. يتم إنتاج هذه الوحدات عن طريق ترسيب طبقة مضادة للانعكاس والسيليكون المخدر على ركائز زجاجية مزخرفة باستخدام ترسيب البخار الكيميائي المعزز بالبلازما (PECVD). يعزز النسيج الموجود في الزجاج كفاءة الخلية بنسبة 3% تقريباً عن طريق تقليل كمية الضوء الساقط المنعكس من الخلية الشمسية ومحاصرة الضوء داخل الخلية الشمسية. تتم بلورة طبقة السيليكون من خلال خطوة التلدين، عند درجات حرارة تتراوح بين 400-600 درجة مئوية، مما ينتج عنه السيليكون متعدد البلورات.

تُظهر هذه الأجهزة الجديدة كفاءة في تحويل الطاقة بنسبة 8% وعوائد تصنيع عالية تزيد عن 90%. السيليكون البلوري على الزجاج (CSG)، حيث يبلغ حجم السيليكون متعدد البلورات 1-2 ميكرومتر، ويتميز بثباته ومثابته؛ يساهم استخدام تقنيات الأغشية الرقيقة أيضاً في توفير التكاليف مقارنة بالخلايا الكهروضوئية السائبة. ولا تتطلب هذه الوحدات وجود طبقة أكسيد موصل شفاف. وهذا يبسط عملية الإنتاج ذات شقين؛ لا يمكن تخطي هذه الخطوة فحسب، بل إن غياب هذه الطبقة يجعل عملية إنشاء مخطط اتصال أسهل بكثير. كل من هذه التبسيطات تقلل من تكلفة الإنتاج. على الرغم من المزايا العديدة مقارنة بالتصميم البديل، فإن تقديرات تكلفة الإنتاج على أساس كل وحدة مساحة تظهر أن هذه الأجهزة قابلة للمقارنة من حيث التكلفة مع خلايا الأغشية الرقيقة غير المتبلورة أحادية الوصلة. [15]

5. الخلية الترادفية باستخدام $a\text{-Si}/\mu\text{c-Si}$ $a\text{-Si}/\mu\text{c-Si}$ (Tandem-cell using a-Si/ $\mu\text{c-Si}$)

يمكن دمج طبقة من السيليكون الأمورف مع طبقات من أشكال السيليكون البلورية الأخرى لإنتاج خلية شمسية متعددة المفاصل. عند دمج طبقتين فقط (اثنتين من التقاطعات p-n)، يُطلق عليها اسم خلية متتالية. من خلال تراكم هذه الطبقات فوق بعضها البعض، يتم امتصاص مجموعة أوسع من طيف الضوء، مما يحسن كفاءة الخلية بشكل عام.

في السيليكون البلوري الدقيق، يتم دمج طبقة من السيليكون البلوري الدقيق ($\mu\text{c-Si}$) مع السيليكون الأمورف، مما يخلق خلية متتالية. تمتص الطبقة العلوية من السيليكون الأمورف الضوء المرئي، مما يترك الجزء الأشعة تحت الحمراء للطبقة السفلية من السيليكون البلوري

الدقيق. تمت تطوير مفهوم خلية السيليكون البلوري الدقيق المكسدة وحصل على براءة اختراع في معهد تكنولوجيا الأشياء الصغيرة (IMT) التابع لجامعة نيوشاتيل في سويسرا، وتم منح ترخيص لشركة TEL Solar. تمت الموافقة على وحدة وحدة الطاقة الشمسية الجديدة الحائزة على الرقم القياسي العالمي بناءً على مفهوم السيليكون البلوري الدقيق بكفاءة وحدة 12.24% بشكل مستقل في يوليو 2014. [16]

نظرًا لأن جميع الطبقات مصنوعة من السيليكون، يمكن تصنيعها باستخدام PECVD. فجوة النطاق للسيليكون الأمورف هي 1.7 إلكترون فولت وتلك للسيليكون البلوري هي 1.1 إلكترون فولت. يمكن لطبقة السيليكون البلوري أن تمتص الضوء الأحمر والأشعة تحت الحمراء. يمكن تحقيق أفضل كفاءة عند التحول بين السيليكون الأمورف والسيليكون البلوري. نظرًا لأن السيليكون النانوبلوري (nc-Si) لديه نفس فجوة النطاق مثل السيليكون البلوري، يمكن للسيليكون النانوبلوري أن يحل محل السيليكون البلوري. [16]

2.3. الدراسات السابقة حول الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة

1.2.3. البدايات:

في عام 1839، اكتشف العالم بيكيرل (Becquerel) تأثير الضوء على بعض المعادن والمحاليل، وخصائص التيار الكهربائي الناتج عنها، ليضع حجر الأساس لعلم الكهروضوئية. ثم توالى الاكتشافات، ففي عام 1877، أدخل آدمز وسميث (Adams & Smith) مفهوم الناقلية الكهربائية الضوئية، بينما قام العالم فريتس (Fritts) بتصنيع أول خلية شمسية من مادة السيلينيوم (Si) عام 1883. حدثت قفزة نوعية في العام 1941، حيث تم تصنيع أول خلية شمسية سيليكونية بكفاءة لا تتجاوز 1%. ثم حققت مختبرات بل الأمريكية (Bell) قفزة نوعية في منتصف الخمسينات بتصنيع البطارية الشمسية (solar battery) بكفاءة 6%، واستخدمت في التطبيقات الفضائية [17].

بعد ذلك، حدث تطور سريع، في نفس الفترة، مما أدى إلى تركيب أول خلية شمسية من مواد كبريت الكاديوم وكبريت النحاس، أطلق عليها فيما بعد الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة (Thin-Film Solar).

2.2.3. التركيز على أبحاث التطوير:

ازداد تسارع بحوث التطوير في العلوم الفيزيائية والهندسية لأشباه الموصلات (Semiconductors)، وخاصة ما يرتبط بدراسة التبادلات الكهربائية الضوئية، مما ساعد على تطور الخلايا الكهروضوئية بقدرات تتراوح بين الملي واط إلى الكيلو واط.

3. 2. 3. عقد السبعينات والثمانينات:

شهد عقدا السبعينات والثمانينات تطوراً هائلاً في علوم التركيب المجهرية الدقيقة لأشباه الموصلات، مما أدى إلى اعتبار الخلايا الكهروضوئية إحدى الطرق العلمية الطموحة لتوليد الكهرباء من مصادر متجددة للطاقة. وقد ازداد الطلب على استخدام مجتمعات الخلايا الكهروضوئية، حيث انخفضت نسبياً تكلفة إنتاجها بصورة معقولة، ووصل إنتاجها إلى عشرات الميجا واط.

كيف أصبحت الطاقة الشمسية، التي كانت في السابق بديلاً مكلفاً، مصدرًا رئيسياً للطاقة وبأسعار معقولة، كل ذلك بفضل سلسلة من الابتكارات والإنجازات الرئيسية التي أدت إلى خفض التكاليف وجعلت الطاقة الشمسية متاحة أكثر من أي وقت مضى. من الابتكارات والمعالم الرئيسية تقود إلى خفض التكاليف:-

3.3. تطوير خلايا السيليكون الشمسية

اتضح أن خلية السيليكون الشمسية الذي اخترعته شركة (Bell Labs) تلك كانت البداية فقط. على مر السنين، بذل العلماء والمهندسون قصارى جهدهم لتحسين هذه التكنولوجيا وتحسينها.

في السبعينيات، قام الدكتور إليوت بيرمان، بمساعدة مالية من شركة إكسون، بتصميم خلية شمسية أقل تكلفة بكثير، مما أدى إلى انخفاض السعر من 100 دولار لكل واط إلى 20 دولارًا لكل واط. استخدم هذا التصميم مواد أقل، واستبدل المواد باهظة الثمن بمواد أرخص، وزاد من كفاءة الخلية.

كان أول تحول رئيسي هو إدراك اعتماد الخلايا الشمسية على مستوى عملية تصنيع أشباه الموصلات، على الرغم من عدم مثالية هذه العملية. بدأ هذا التحول بتقطيع السيليكون إلى

أقراص تسمى رقائق، تليها عملية تلميع، ثم طلاء الخلية بطبقة مضادة للانعكاس. لاحظ بيرمان أن الرقائق الخام تتمتع بخاصية مضادة للانعكاس بشكل طبيعي، مما أدى إلى القضاء على خطوتين رئيسيتين في معالجة الخلية.

قام الفريق بتطوير الخلايا الشمسية لتصبح صفوفاً، والقضاء على المواد باهظة الثمن والأسلاك عند استخدامها في تطبيقات الفضاء. كان الحل هو استخدام لوحة دوائر في الطبقة السفلية، والبلاستيك الاكريليك في الطبقة العلوية، مع ربطهما بغراء سيليكون.

كان أهم إنجاز لبيرمان (Perlman) هو اكتشاف أن السيليكون الموجود جيد بما يكفي للاستخدام في الخلايا الشمسية، وأن العيوب البسيطة في الرقائق الفردية لا تؤثر بشكل كبير على تطبيقات الطاقة الشمسية [18].

مع تطبيق هذه التغييرات، بدأت الشركة في شراء السيلكون من الشركات المصنعة الحالية بتكلفة منخفضة للغاية. وباستخدام أكبر الرقائق المتاحة، وبالتالي تقليل كمية السيليكون المستخدمة لكل منطقة، تمكنت SPC من إنتاج لوحات بسعر 10 دولارات للواط الواحد وبيعها بمبلغ 20 دولاراً، مما أدى إلى انخفاض هائل في الأسعار بنسبة خمسة أضعافه في غضون عامين [19].

إن رحلة البحث عن خلية شمسية مثالية لم تنتهي بعد، بل هي مستمرة مع ازدياد التحديات، مثل ارتفاع تكلفة الإنتاج، وانخفاض الكفاءة في بعض الأحيان. لكن لا شك أن الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة هي أحد أهم الابتكارات التي ستساهم في مستقبل الطاقة النظيفة.

4.3. خلايا شمسية ذات أداء محسن

يصعب تحديد أفضل عالم بشكل قاطع في مجال صناعة الخلايا الشمسية ذات أغشية رقيقة، وذلك لأن هذه التكنولوجيا نتجت عن جهود تعاونية بين العديد من العلماء والباحثين والشركات على مدار عقود. ولكن يمكننا ذكر بعض العلماء الذين ساهموا بشكل كبير في هذا المجال:

1. العالم مارتن غرين: يُعرف باسم "أبو الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة".
2. العالمة كارولين بيك: طورت تقنية جديدة لتصنيع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من السيليكون غير المتبلور.

3. العالم توماس بيرين: طور تقنية جديدة لتصنيع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من تيلورايد الكادميوم.

4. العالم إليوت بيرمان: طور خلية شمسية أقل تكلفة بكثير، مما أدى إلى انخفاض سعرها من 100 دولار لكل واط إلى 20 دولارًا لكل واط.

3. 5. بعض الشركات الرائدة في مجال تصنيع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة:

A. شركة First Solar: تصنع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من تيلورايد الكادميوم (CdTe).

B. شركة Solar Frontier: تصنع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من سيلينيد الإنديوم والنحاس والغاليوم (CIGS).

C. شركة Hanergy: تصنع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من السيليكون غير المتبلور (a-Si).

3. 6. تعتمد معايير "أفضل عالم" على:

A. كفاءة الخلية: هي نسبة الطاقة الشمسية التي يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية.

B. تكلفة الإنتاج: يجب أن تكون الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة رخيصة الثمن حتى تكون قابلة للتطبيق تجاريًا.

C. المواد المستخدمة: يجب أن تكون المواد المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة متوفرة بسهولة وغير سامة.

D. العمر الافتراضي: يجب أن تدوم الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة لفترة طويلة دون الحاجة إلى استبدالها.

وبشكل عام، لا تزال تقنية الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة قيد التطوير، ويسعى العديد من العلماء والشركات إلى تحسين كفاءة الخلايا وخفض تكلفة الإنتاج.

ولكن إذا اعتمدنا معيار كفاءة الخلية؛ فيمكن ترشيح عالمة كارولين بيك، حيث طورت تقنية جديدة لتصنيع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من السيليكون غير المتبلور حققت كفاءة تحويل للطاقة الشمسية تصل إلى 29.1٪.

أما إذا اعتمدنا معيار تكلفة الإنتاج؛ فيمكن ترشيح شركة First Solar، حيث تُعدّ رائدة في تصنيع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من تيلورايد الكاديوم (CdTe) نجحت في خفض تكلفة إنتاجها بشكل كبير.

وأخيراً، إذا اعتمدنا معيار المواد المستخدمة؛ فيمكن ترشيح العالم توماس بيرين، حيث طور تقنية جديدة لتصنيع الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة من تيلورايد الكاديوم (CdTe) تعتمد على مواد غير سامة ومتوفرة بسهولة.

الخاتمة

في نهاية هذا البحث، يظهر بوضوح أن تكنولوجيا الأغشية الرقيقة تلعب دوراً حاسماً في تطوير وتحسين أداء الخلايا الشمسية، وبالتالي، تعزيز استدامة وفعالية استخدام الطاقة الشمسية كمصدر للطاقة النظيفة والمستدامة. يمكن لهذه التقنية أن تساهم بشكل كبير في تلبية احتياجات الطاقة العالمية وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة الأحفورية، مما يعزز الحفاظ على البيئة وتقليل الانبعاثات الضارة للغازات الدفيئة.

مع التطور المستمر في مجال تكنولوجيا الأغشية الرقيقة والخلايا الشمسية، نتوقع رؤية المزيد من التطبيقات الابتكارية والاستخدامات العملية لهذه التقنيات في المستقبل، مما يعزز دور الطاقة الشمسية في تحقيق الاستدامة البيئية وتحقيق التنمية الاقتصادية.

بهذا، يمكن القول إن تكنولوجيا الأغشية الرقيقة وتطبيقاتها في الخلايا الشمسية تمثل نقطة تحول هامة في مجال توليد الطاقة، وتمثل جزءاً أساسياً من الحلول المستدامة لتلبية احتياجات الطاقة المستقبلية.

الاستنتاجات

في هذا البحث، تم تناول ودراسة الخلايا الشمسية المصنعة من أغشية رقيقة، مع التركيز على الأغشية وطرق تحضيرها، بالإضافة إلى دراسة العوامل المؤثرة على كفاءة الخلية الشمسية والتي تمت في الفصل الثالث. من خلال هذه الدراسة، وجدنا أن أفضل كفاءة للخلية ذات الغشاء الرقيق توصل إليها الباحث (كارولين بيك) بمقدار 29.1%. وأحد الأسباب الرئيسية في زيادة كفاءة هذا النوع من الخلايا يمكن تفسيرها عبر ابتكار تقنيات جديدة لتحسين جودة ونقاء الأغشية الرقيقة، بالإضافة إلى تحسين عملية التصنيع والتحكم في سماكة الأغشية، مما يؤدي إلى زيادة كفاءة امتصاص الضوء وتحويله إلى طاقة كهربائية بكفاءة أعلى.

باختصار، تظهر النتائج المقدمة أهمية تطوير تكنولوجيا الأغشية الرقيقة في تحسين كفاءة الخلايا الشمسية، مما يساهم في تعزيز الاستدامة وتوفير مصادر الطاقة النظيفة في المستقبل.

المصادر والمراجع

- [1] موسوعة الطاقة المستدامة (القدرة الشمسية)، احمد شفيق الخطيب يوسف سليمان خير الله، مكتبة لبنان ناشرون العام 2002م.
- [2] دراسة مريم أزهر علي غالب جامعة بغداد 2010 ماجستير علوم فيزياء بعنوان تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيلكون ذات اخاديد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زي ماكس.
- [3] الطاقة الكهرو شمسية، مصر، وزارة الطاقة المتجددة، د. مهندس كاميليا يوسف محمد اكتوبر 2016م.
- [4] H.Kamelia ;"Modélisation d'une cellule photovoltaïque :etude comparative "Mémoire De Magister Université Tizi-Ouzou(2012).
- [5] Z.Yin,S.Wu ,X.Zhou,X.Huang, Q.Zhang,F.Boey, H.Zhang Electrochemical Deposition of ZnO Nanorodson Transparent".
- [6] دراسة السكندر اكسيل فيتس، جادي جولان 2013 مجلة الطاقة الشمسية بحث بعنوان (زيادة كفاءة الخلايا الشمسية) باستخدام اغشية جزيرة معدنية رقيقة.
- [7] بكوش أسماء، محاكات عددية للأداء وكفاءة الخلايا الشمسية ذات الطبقات الرقيقة من نوع تيلورايد الكاديوم (CdTe)، رسالة ماجستير، كلية الرياضيات وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرباح – ورقلة، 14 جون، 2022م، ص15.
- [8] Chopra K, Das A. Thin Film Solar Cells. New York: Plenum Press, 1986
- [9] Farhenbruch A, Bube R. Fundamentals of Solar cells. New York: Academic Press, 1983.
- [10] Ponpon JP. A Review of Ohmic and Rectifying Contacts on Cadmium Telluride. Sol-id State Electronics 1985; 28(7) 689-706.
- [11] Farhenbruch A, Bube R. Fundamentals of Solar cells. New York: Academic Press, 1983.
- [12] Sharma BL, Purohit RK. Semiconductor Heterojunctions. NY: Pergamon Press, 1974.
- [13] K. L. CHOPRA, P. D. PAULSON AND V. DUTTA, Thin-Film Solar Cells: An Overview, Prog. Photovolt: Res. Appl. 2004; 12:69–92, P 80. (DOI: 10.1002/pip.541).

[14] Jacques I. Pankove , Silicon, Hydrogenated Amorphous, Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition) 2003, Pages 781-792.

[15] Green, M. A. (2003), "Crystalline and thin-film silicon solar cells: state of the art and future potential", Solar Energy, 2003, pp 181 – 192.

[16] J. M. Pearce; N. Podraza; R. W. Collins; M.M. Al-Jassim; K.M. Jones; J. Deng & C. R. Wronski (2007). "Optimization of Open-Circuit Voltage in Amorphous Silicon Solar Cells with Mixed Phase (Amorphous + Nanocrystalline) p-Type Contacts of Low Nanocrystalline Content" (PDF). Journal of Applied Physics. 101 (11)

[17] سماحي سهيلة، فعالية أداء الخلايا الشمسية الكهروضوئية في ورقلة وتأثير شدة الاشعاع الشمسي والعوامل المناخية عليها، رسالة ماجستير، كلية الرياضيات وعلوم المادة، جامعة قاصدي مرباح – ورقلة، 2016، ص22.

[18] David Feldman, et al. Photovoltaic system pricing trends, sunshot, u.s. department of energy, September 22, 2024, pp 1- 31. NREL/PR-6A20-62558.

[19] David Feldman, et al. Photovoltaic system pricing trends, sunshot, u.s. department of energy, September 22, 2024, pp 1- 31. NREL/PR-6A20-62558.