جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل / كلية العلوم للبنات
قسم فيزياء ليزر

الكواشف الفولتائية

بحث تقدمت به الطالبة

بتول جابر موسى جابر

الى مجلس كلية العلوم للبنات / جامعة بابل
وهي جزي من متطلبات نيل درجة شهادة البكلوريوس
في فيزياء الليزر

باشراف

د.وجيهه عبد الدائم النعيمي

2023 م

1444 هـ

The Republic of Iraq
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University of Babylon / College of Science for Girls
Department of laser physics

Photo voltic detector

Research submitted by the student

bitul jabir musaa jabir

To the Council of the Faculty of Science for Girls / University of Babylon
It is part of the requirements for obtaining a bachelor's degree
in laser physics

Supervised by
Dr. Wajeha Abdul-Daem Al-Nuaimi

2023 A.D
1444 A.D

الخلاصة

الكواشف الفولتائية عبارة عن اجهزة تحول الطاقة الكهرومغناطيسية الى طاقة كهربائية على شكل تيار او فولتية و

تعتمد في عملها على الظاهرة الكهروضوئية كما انها تتكون من تقاطع بين اثنين من اشباه الموصلات ذات القطبية المعاكسة (تقاطع pn). من تطبيقاتها هي (الخلايا الشمسية)، حيث يقوم مبدأ عمل الخلايا الشمسيّة على امتصاص أشعة الّشمس وتحويل الّطاقة الشمسيّة إلى طاقة كهربائيّة ، للخلايا الشمسية عدة انواع منها (خلايا شمسية احادية البلورة ، متعددة البلورات ، الرقيقة ، ذات الكفاءة العالية و الخلايا التكنولوجية المستجدة) .و من العوامل المؤثرة في كفاءة الخلية الشمسية هي العلاقة بين طاقة فوتونات ضوء الشمس وطاقة ربط الإلكترون بالذرة وتحول طاقة الفوتونات الممتصة إلى حرارة وتسرب جزء من التيار الكهربائي خلال نقاط الاتصال.

أبرز تطبيقات الخلايا الشمسية :-

- إنارة أعمدة الإنارة في الشوارع
- الأجهزة المحمولة التي تعتمد على الطاقة الشمسية،
- تصميمات الديكور
- أجهزة رفع ّ المياه من بطن الأرض
- التدفئة المنزلية
- تسخين المياه
- شحن البطاريات

و للخلايا الشمسية عدة مميزات و عدة عيوب من مميزاتها انها طاقة طويلة الاجل و تحافظ على البيئة من التلوث اما عيوبها هي مشكلة الغبار اذ يجب تنظيف الخلية للحصول على اكبر قدر من الطاقة إضافة إلى حالة الطقس ففي الايام الغائمة لا يتم خزن طاقة كافية لاستعمالها لاحقا .

(وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْماً)

صدق الله العلي العظيم

(سورة طه آية 144)

{ الإهداء }

الـى المنتظـر الغائـب عـن اعيينـا الحاضـر فـي قلوبنـا : صـاحب العصر والزمان (عجل الله فرجه الشريف)

الـى مـن ضـحا براحـة جسـده و عمـل جاهـداً لإيصـالي الـى هـذا المكان و كان ساندا لي: أبي الغالي

الـى مـن سـهرت الليـالي و ذات القلـب الحنـون و كانـت سـاندتا لي : أُمي الغالية

الـى رفيقـات عمـري منـذ صـغري و مـن ترعرعـت و كبـرت معهن : أُختي العزيزات

الـى شـريك حيـاتي و سـندي فـي مـا تبقـى مـن عمـري و رفيـق دربي : زوجي العزيز

الـى مـن ضـحوا بأجسـادهم دفاعـاً عـن هـذا البلـد الجـريح : شهدائنا الابرار

الـى كـل مـن سـاهم بحمـل أمانـة العلـم و مضـى قـدماً الـى الامـام فـي السـيرة العلميـة لتثقيـف المجتمـع و إنقـاذه مـن الجهـل و الضلالة (معلماتي و مدرساتي و اساتذتي الكرام)

اليهم جميعاً اهدي هذا العمل المتواضع

{ الشكر و التقدير }

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى اله الطيبين الطاهرين و سلم تسليماً كثيرا.

اول مشكور هو الله عز وجل ثم و الدي على ما بذلوه منذ يوم ولادتي الى يومي هذا ، و مهما فعلت لن اجازيهم حق تعبهم و مجهودهم الذي بذلوه من اجلي .

و مهما تقدمنا و فتحت أمامنا السبل و وصلنا الى طموحاتنا و احلامنا فعلينا تذكر من كانوا سبباً بنجاحنا.

كما اتقدم بخالص شكري الى مشرفة بحثي (د. وجيهه عبد الدائم النعيمي) لما سهلته عليه في تقديم هذا البحث و ايضا لا انسى من شكري كادر تدريسي قسم فيزياء الليزر مع شكري الى الاساتذة الافاضل في لجنة المناقشة.

المحتويات

التسلسل	الموضوع	الصفحة
أ	الواجهة	١
ب	الخلاصة	٣
ت	سورة قرآنية	٤
ج	الإهداء	٥
د	الشكر و التقدير	٦
	الفصل الاول	٨
١-١	المقدمة	٩
١-٢	تاريخ الظاهرة الكهروضوئية	١٠
١-٣	الظاهرة الكهروضوئية	١١
١-٤	عمل الكواشف الفولتائية	١٣
	الفصل الثاني	١٤
٢-١	تاريخ الخلايا الشمسية	١٥
٢-٢	مكونات الخلايا الشمسية	١٦
٢-٣	عمل الخلايا الشمسية	١٨
٢-٤	أنواع الخلايا الشمسية	٢٠
٢-٥	العوامل المؤثرة في كفاءة الخلية الشمسية	٢٤
٢-٦	محاور تطوير الخلايا الشمسية	٢٥
٢-٧	ابرز تطبيقات على الخلايا الشمسية	٢٦
٢-٨	مميزات الخلايا الشمسية	٢٧
٢-٩	مشاكل استخدام الطاقة الشمسية	٢٩
٢-١٠	الاستنتاجات	٣٢
	المصادر	٣٣

الفصل الاول

(الكواشف الفولتائية)

١-١ المقدمة

الكواشف الفولتائية أجهزة تولد جهدًا يتناسب مع شدة الإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط. تسمى هذه الأجهزة بالخلايا الكهروضوئية نظرا لخصائصها المولدة للجهد.

تقوم الكواشف الفولتائية بتحويل الطاقة الكهرومغناطيسية إلى طاقة كهربائية على شكل تيار او فولتية (I,V). نجد تطبيقاتها في كل من أجهزة الكشف عن الإشعاع الكهرومغناطيسي ومصادر الطاقة التي تحول الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية (الخلايا الشمسية) و غيرها من التطبيقات الأخرى [1] .

و الخلية الشمسية أو الضوئية أو الكهروضوئية وكان يطلق عليها في الأيام الأولى لصناعتها بطارية شمسية ولكن أصبح ذلك يحمل معنى مختلف تماما[2].

أن الخلية الشمسية عبارة عن جهاز يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية مستغلة التأثير الضوئي الجهدي، وتتكون من طبقة سيليكون يضاف لها بعض الشوائب لتعطيها بعض الخواص الكهربائية، فالطبقة العليا المقابلة للشمس يضاف إليها عنصر الفسفور، لتعطيه خاصية ضخ الكَهربائيات عند ارتطام الضويئات بها وتسمى هذه الطبقة بالطبقة N بينما يضاف عنصر البورون للطبقة السفلى ويعطيه خاصية امتصاص الُكَهيِربات وتسمى هذه الطبقة P، فعند ارتطام ضويئات الشعاع الشمسي بالطبقة العلوية تمنح الُكَهيِربات طاقة تعتمد على شدة الإشعاع الشمسي، وعند وجود موصل كهربائي بين الطبقتين تنتقل الكَهربائيات من الطبقة العليا إلى الطبقة السفلى وهكذا يتكون تيار وجهد كهربائيان، وتعتبر الخلايا الشمسية مصدر ها لتزويد المركبات الفضائية والأقمار الصناعية بما تحتاجه من طاقة كهربائية، وتعتبر من البدائل المساعدة لمصادر الطاقة التقليدية من البترول والفحم والغاز ومشتقاته المحدودة في الطبيعة والقابلة للنضوب بسبب الاستنزاف الهائل لها، فالخلايا الشمسية تحول طاقة الأشعة الشمسية مباشرة إلى كهرباء وتتميز بإنتاج كهرباء دون أن تؤدي

لتلوث البيئة، وعمرها الافتراضي يصل إلى 30 سنة، إن ارتفاع كلفة انتاجها هو العائق الرئيس لاستخدامها. [3]

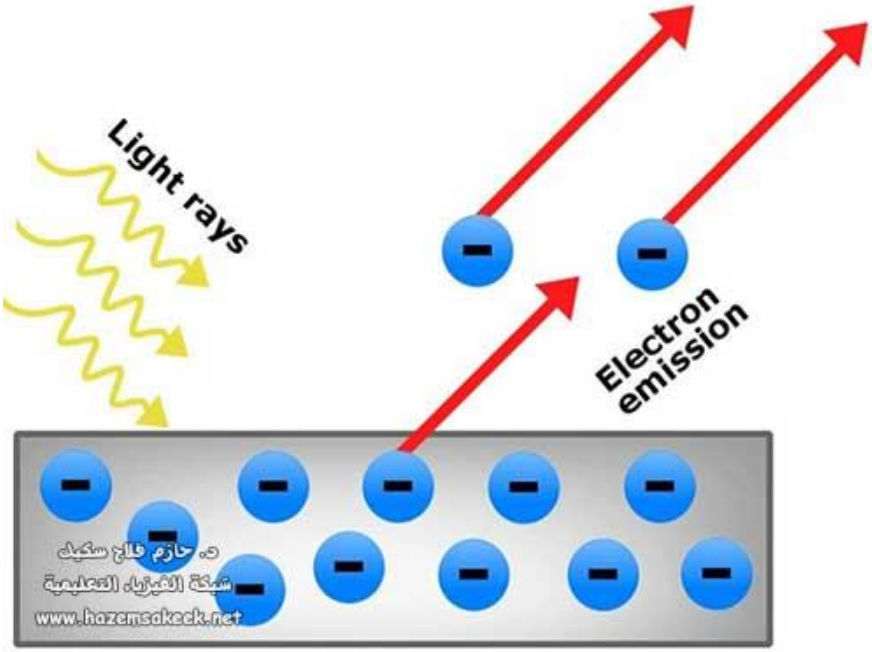
٢-١ تاريخ الظاهرة الكهروضوئية

عند تعريض سطح ما إلى إشعاع كهرومغناطيسي فوق تردد معين (عادة هو تردد الضوء المرئي للفلزات القلوية، وقريب من الأشعة فوق البنفسجية لباقي الفلزات، وهو أقصى قيمة للأشعة فوق البنفسجية للا فلزات)، يتم امتصاص الإشعاع وتنبعث الإلكترونات من السطح. الضوء، وبالأخص فوق البنفسجي، يفرغ الأجسام المشحونة بشحنة سالبة ويولد إشعاع تشبه طبيعته طبيعة أشعة الكاثود. وتحت ظروف خاصة يمكن أن تأين الغازات. أول من اكتشف هذه الظاهرة هما العالمان هرتز عام 1887. وأعلن عن هذه الظاهرة من قبل العالم لينارد عام 1900.

الضوء فوق البنفسجي الذي يؤدي إلى هذا التأثير يمكن الحصول عليه من مصباح قوسي، أو من خلال حرق المغنيسيوم، أو من خلال حث ملف بين طرفين من الزنك والكادميوم، وهو ضوء غني جداً بالأشعة فوق البنفسجية. ويعتبر شعاع الشمس غير غني بالأشعة فوق البنفسجية، حيث أن هذه الأشعة يتم امتصاصها من طبقة الغلاف الجوي، وهي بشكل عام لا تنتج تأثيراً قوياً مثل المصباح القوسي. العديد من المواد ومن ضمنها المعادن تفرغ الشحنات السالبة تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية: ويمكن الحصول على قوائم بهذه المواد من أوراق أبحاث G. C. Schmidt[26] و O. Knoblauch.[27]

١-٣ الظاهرة الكهروضوئية [١٩] (Photoelectric Effect) :-

هي انبعاث الإلكترونات من الأجسام الصلبة والسائلة والغازية عند امتصاص الطاقة من الضوء، حيث تسمى الإلكترونات المنبعثة من هذه الظاهرة بالإلكترونات الضوئية (Photoelectrons).[20][21]



شكل (١-٢) توضيح للظاهرة الكهروضوئية

في عام 1887، لاحظ العالم هيرتز أنه عند تعريض سطح من مادة موصلة لشعاع فوق بنفسجي فإنه الشرر الكهربائي يتولد بسهولة أكبر. وفي عام 1905 قدم أينشتاين ورقة أبحاث فسرت النتائج العملية للظاهرة الكهروضوئية على أن طاقة الضوء توجد على شكل كميات من الطاقة سميت فوتونات. وقد أدى اكتشافه هذا إلى ثورة عظيمة في علم فيزياء الكم. وقد منح آينشتاين جائزة نوبل في الفيزياء عام 1921 على تفسيره التأثير الكهروضوئي.[٢٢]

يتطلب التأثير الكهروضوئي وجود فوتونات ذات طاقة تعادل ما يقارب 1 ميجا إلكترون فولت في العناصر ذات العدد الذري الكبير. وأدت دراسة التأثير الكهروضوئي إلى التقدم في فهم الطبيعة الكمية للضوء والإلكترونات، كما

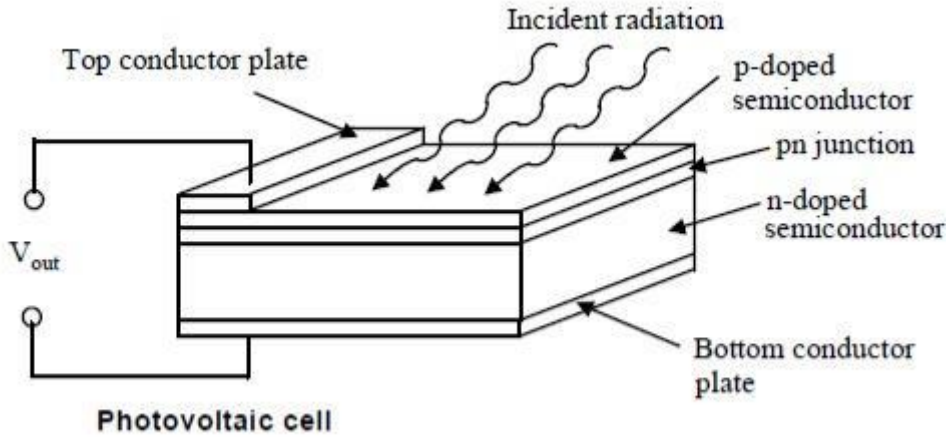
كـــان لهـــا الأهميـــة فـــي تشـــكيل مفهـــوم ازدواجيـــة الموجـــة-والجســـيم. وفســـرت كـــذلك ظـــاهرة أخـــرى وهـــي تغييـــر الضـــوء لمســـار الشـــحنات. كمـــا أنهـــا ألقـــت الضـــوء علـــى اكتشـــاف مـــاكس بلانـــك الســـابق للعلاقـــة التـــي تـــربط الطاقـــة والتـــردد الناشـــئة عـــن تكميم الطاقة.

تملـــك الفوتونـــات طاقـــة معينـــة تتناســـب مـــع تـــردد الضـــوء. فـــي عمليـــة الانبعـــاث الضـــوئي، إذا امـــتص إلكتـــرون فـــي مـــادة مـــا طاقـــة فوتـــون واحـــد وكانـــت طاقتـــه أكبـــر مـــن اقتـــران الشـــغل (طاقـــة ربـــط الإلكتـــرون) للمـــادة فســـينبعث الإلكتـــرون. أمـــا إذا كانـــت طاقـــة الفوتـــون قليلـــة جـــداً، لـــن يصـــبح الإلكتـــرون قـــادراً علـــى التحـــرر مـــن المـــادة. وعنـــد زيـــادة شـــدة الضـــوء فـــإن عـــدد الفوتونـــات المنبعثـــة يصـــبح فـــي تزايـــد، ويـــؤدي هـــذا إلـــى زيـــادة عـــدد الإلكترونـــات المنبعثـــة، ولكنـــه لا يـــؤدي إلـــى زيـــادة طاقـــة الممتصـــة للإلكتـــرون الواحـــد. ومـــن هـــذا نســـتنتج أن الطاقـــة التـــي يحملهـــا الإلكتـــرون المنبعـــث لا تعتمـــد علـــى شـــدة الضـــوء الســـاقط عليـــه، بـــل تعتمـــد فقـــط علـــى تـــردد (طاقـــة) هـــذا الضـــوء. وهـــذا يربط طاقة الفوتون الساقط وطاقة الإلكترون المنبعث.

تســـتطيع الإلكترونـــات امتصـــاص طاقـــة الفوتونـــات عنـــد تعريضـــها لشـــعاع، ولكنهـــا فـــي العـــادة تتبـــع مبـــدأ «كـــل شـــيء أو لا شـــيء». كـــل طاقـــة الفوتـــون يـــتم امتصاصـــها واســـتخدامها لتحريـــر إلكتـــرون واحـــد مـــن الرابطـــة الذريـــة، وإلا فـــإن طاقـــة الفوتـــون ســـتنبعث مـــرة أخـــرى. فـــإذا تـــم امتصـــاص طاقـــة فوتـــون، جـــزء مـــن الطاقـــة ســـيحرر الإلكتـــرون مـــن الـــذرة، والبـــاقي ســـيعمل علـــى زيـــادة الطاقـــة الحركيـــة للإلكتـــرون الحر.[٢٣][٢٤][٢٥]

١-٤ عمل الكواشف الفولتائية:-

أفضل وصف لمبدئ عمل الكواشف الفولتائية هو الشكل الموضح أدناه:



شكل (١-٣) تركيب الكواشف الفولتائية

الكاشف في الواقع عبارة عن دايود تم بناؤه باستخدام تقاطع pn بين أشباه الموصلات المخدرة بشكل مناسب. تمر الفوتونات التي تضرب الخلية عبر الطبقة العليا الرقيقة المغطاة بـ p وتمتصها الإلكترونات في الطبقة n، مما يتسبب في تكوين إلكترونات التوصيل والثقوب.

ثم تفصل إمكانات منطقة استنفاذ الوصلة هذه الإلكترونات وثقوب التوصيل ، مما يتسبب في تطور فرق الجهد عبر التقاطع. الطرف العلوي موجب ، والسالب السالب. من الممكن أيضا بناء خلية بطبقة رقيقة و nopop في الأعلى بحيث تكون جميع الأقطاب متقابلة، [1] و من تطبيقات الكواشف الفولتائية هي الخلايا الشمسية.

الفصل الثاني

(الخلايا الشمسية)

من الامثلة على الكواشف الفولتائية هي الخلايا الشمسية:-

٢-١ تاريخ الخلايا الشمسية

إن أصل مصطلح «الضوئية » (photovoltaic) من اليونانية ويعني الضوء ومن اسم فولتا وهو فيزيائي إيطالي، فولت -وحدة تابعة للقوة الدافعة الكهربائية-، وبذا أصبح المصطلح (photovoltaic) منذ عام 1849.

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 .[٥]

وقد وضح ألبرت آينشتاين التأثير الكهروضوئي في عام 1905 وقد حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1921 .[٦] أكتشف فاديم فوشكوراف الوصلة الثنائية بي إن (p–n junction) في الفضة وكبريتيد Cu{\displaystyl _{2}}{\displaystyle O{2}_ سنة 1941، [٧] وقد حصل روسل أوهل على براءة اختراع أشباه الموصلات في تقاطع الخلايا الشمسية الحديثة في عام 1946،[٨] الذي تم اكتشافه في الوقت الذي تمت فيه سلسلة من التطورات التي عنيت بالترانزستور.

شكل(٢-١) الخلايا الشمسية

٢-٢ مكونات الخلايا الشمسية

١-الالواح

تُعتبر الألواح هي الجزء الظاهر من الخلية الشمسية، حيث يتم ترتيبها على شكل مصفوفات إما على الأسطح، أو على الأعمدة، أو مباشرة على الأرض، بِغض النظر عن المكان الذي تُوضع فيه فإنه يجب تثبيتها بشكل جيّد باستخدام حوامل خاصة لها، وبزاوية مثلى تتناسب مع اتجاه أشعة الشمس، حتى يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء.[٩]

٢-البطارية

تُنتج الخلية الشمسية الكهرباء في النهار أثناء طلوع الشمس، الأمر الذي يتطلب وجود مخزن لتخزين جزء من الطاقة التي تُنتجها حتى يتم استخدامها في الليل، وهذه هي وظيفة البطارية، حيث تخّزن الطاقة التي تنتجها الخلية الشمسية ليتم إعادة استخدامها في الليل أو حتى في الأيام الغائمة والخالية من أشعة الشمس.[٩]

٣-العاكس

تُنتج الألواح الشمسية طاقة التيار المستمر (DC)، في حين تَستخدم الأجهزة الكهربائية المنزلية طاقة التيار المتردد، لذلك فإن وظيفة العاكس هي تحويل طاقة التيار المستمر التي تُنتجها الخلايا

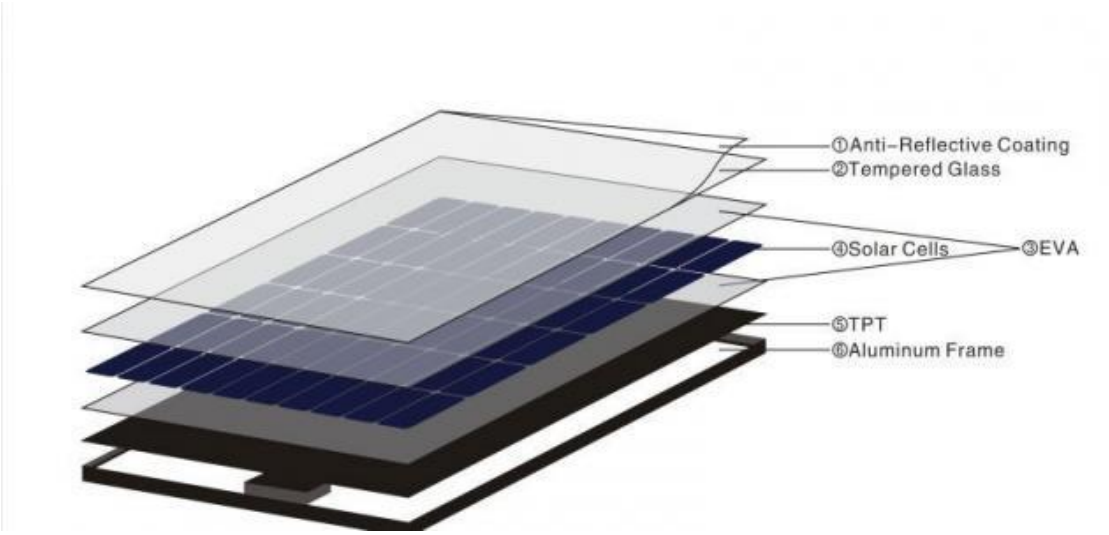
الشمسية إلى طاقة التيار المتردد (AC) التي تطلبها الأجهزة المنزلية.[٩]

٤- جهاز التحكم في الشحن

يُوجد هذا الجهاز في أي نظام للخلايا الشمسية، حيث يُنظم كمية التيار التي تُغذيها الألواح الضوئية في البطاريات لشحنها، فوظيفته الرئيسية هي منع الشحن الزائد للبطاريات، بالإضافة إلى حجب تيار البطارية من التسرب مرة أخرى إلى المجموعة الضوئية في الليل أو عند اختفاء الشمس.[١٠]

٥-السيليكون

تتم معالجة السيليكون الذي يُستخدم داخل الخلايا الشمسية معالجة عالية، حيث يتم استخراج هذه المادة من مناجم السيليكا التي تتواجد غالباً في المناطق ذات التركيز العالي للكوارتز، بحيث يتم صقل السيليكا حتى تصل إلى الصفات المعدنية، وعلى الرغم من أن هذه العملية تتم داخل فرن القوس الكهربائي، إلا أن خلية المادة تبقى كهروضوئية، فتعزز كمية الطاقة التي تطلقها الخلية، وتجعلها نقية، فالسيليكون النقي هو بلّوري، لذلك فهو يعّد بُنية ضرورية للخلايا الكهروضوئية.[١١]



شكل (١-١) مكونات الخلايا الشمسية

بصورة عامة تتكون الكواشف الفولتائية من تقاطع بين اثنين من أشباه الموصلات ذات القطبية المعاكسة (تقاطع pn). تتسبب الفوتونات الممتصة عند التقاطع أو بالقرب منه في انبعاث حاملات الشحنة المفصولة عن طريق الت تتكون قاطع لإنتاج جهد خارجي. يرتبط حجم الجهد بعدد الفوتونات الساقطة. يستخدم هذا النوع من الأدوات في علم الفلك للكشف عن الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء ؛ على سبيل المثال ، يتم استخدام كاشف إنديوم أنتيمونيد (InSb) في الأشعة تحت الحمراء القريبة . لتحقيق الأداء الأمثل في الأشعة تحت الحمراء ، يتم تبريد أجهزة الكشف ، على سبيل المثال عن طريق النيتروجين السائل لتعمل عند 77 كلفن أو بالهيليوم السائل ليعمل عند حوالي 4 كلفن على عكس مقاييس ضغط الهواء ، لا تُظهر أجهزة الكشف الفولتائية أي تغير كبير في درجة الحرارة في عناصرها المتجاورة [4].

٢-٣ عمل الخلايا الشمسيّة

يقوم مبدأ عمل الخلايا الشمسيّة على امتصاص أشعة الّشمس وتحويل الّطاقة الشمسيّة إلى طاقة كهربائيّة تُمكن الاستفادة منها عبر هذه العمليّة، وفي هذه الحالة تكون الّشمس قد أدت دور الُمولّدات الكهربائيّة؛ ففي كل يومٍ تُشرق فيه الّشمس تُطلق طاقة كبيرة على شكل فوتونات تُغطي كل جزء من سطح الأرض، وتصُل كمية هذه الّطاقة إلى أكثر من ألف واط لكلّ متر ُمربع من الأرض المكشوفة، وتقوم الألواح الشمسيّة باستقطاب هذه الّطاقة. ويحتوي كل لوح من ألواح الّطاقة الشمسيّة على مجموعة من الّصفوف، وكّل صف يحتوي على خلايا شمسيّة، ويتُم تجميع هذه الألواح في مصفوفات كبيرة جّداً لتشكيل المحطات الشمسيّة التي تمُّد المُدن والَمصانع بالطاقة في العديد من أنحاء العالَم [١٢].

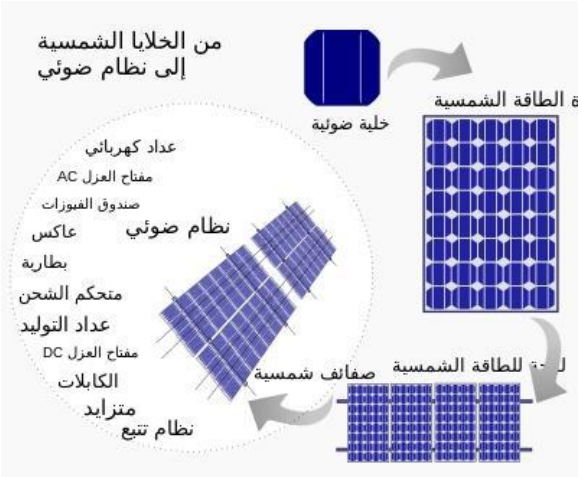
وعليه فالخلية الشمسيّة عبارةٌ عن أداةٍ شبه ُموصلة ذات بناء بسيط، وظيفتُها تحويل الفُوتونات الموجودة في أشعّة الضوء إلى أشكال من الطاقة يستطيع الإنسان الاستفادة منها، والّطريقة الأساسية للقيام بهذا التّحويل هي السماح للخلية الشمسيّة بامتصاص الفُوتونات وإسقاطها على سطحِ كريستالّي مكون من أحد العناصر الكيميائيّة. والخاصيةُ الكريستاليّة أو البلورية تُشير إلى أن ذرات هذا العُنصر ُمرتبة على المستوى الجزيئي بنمط ثابت دقيق جّداً،

ويُعتَبر السيليكون العُنصر الأكثر رواجاً استعماله في هذه الوظيفة بسبب امتلاكه خواصاً مُشتركةً ما بين المعادن (الموصلة للكهرباء)والعوازل (المانعة للكهرباء)، وبالتّالي يُؤدي دوراً جوهريّاً في تكوين الخلية.[١٣]

عندما تصطدُم الفوتونات بالسطحِ المكّون من السيليكون فهي تُؤّدي إلى تأيين ذراتِه (تنقل إليها شحنة كَهربائيّة) مما يُؤدي إلى تحرر بعض الإلكترونات منها، وبالتّالي تبقى بعُض الذرات الكريستاليّة ذات الشحنة الإيجابية، وتستطيع الشحنة الانتقال من ذرة إلى الأخرى بحرية كبيرة، وتُصبح هي الأساس للطاقة التي سوف تُنتجها الخلية الشمسيّة من الضوء. ويُمكن تبسيط هذا التّفاعل بأنه يُؤدي إلى توليد طاقة كهربائيّة داخل السيليكون بمجرد اصطدام أشعة الشمس به.[١٤]

بعد ذلك، تبدأ الإلكترونات الموجودة داخل الخلية الشمسيّة في الحركة نتيجةً لاكتسابها للشحنة الكهربائيّة، فتقوم بتشكيل حقل كهربائي، وتنطلق الإلكترونات من كريستالة السيليكون (أو أياً ما كان نوعُ المادة المستعملة في صناعة الخليّة الشمسيّة) وتتجمع على شكل طاقة كهربائيّة تُرسلها الخليّة الشمسيّة إلى جهاز المحّول. وعند هذه المرحلة تنتج كهرباء في حالة التيّار المباشر (DC)؛ وهي كهرباء يمكن إنتاجها كيميائيّاً، ومن أمثلتها كهرباء البطاريّات، ولكن لا يمكن الاستفادة منها وهي في شكلها الحالي في الأمور الحياتيّة اليوميّة للإنسان، ولذلك تلزم الاستعانة بمحِّول من نوع خاص ليقوم بتحويل هذه الكهرباء من حالة التيّار المباشر (DC) إلى التيّار المترِدد (AC)، وبالتّالي تُصبح الطاقة الكهربائيّة جاهزةً لتشغيل المنازل والمنشآت البشرية.[١٤]

تُعتمد كميّة الطاقة المنتَجة على حجم اللّوح الشمسي وما يحتويه من خلايا شمسيّة؛ ففي الألواح الشمسيّة العاديّة، تكون القدرة الإنتاجية للوح الواحد في المتوسط 250 واط تقريباً، ويمكن معرفةُ القدرة الإنتاجية للوح الواحد من ورقة البيانات (Data Sheet) التي تكون ُمرفقة مع الألواح عند شرائها من شركةٍ تجارية. وقد اتّخذ هذا النّوع من إنتاج الطاقة النّظيفة من المصادر المتجِّددة َمنحى كبيراً وحصل على أهميّة كبيرة عند المنظمات والحكومات المهتمة بالحفاظ على نظافة البيئة، ويبلغ عمر الإنتاج للألواح الشمسيّة ما يُقارب الخمسة وعشرين عاماً، كما أن تكلفته في الآونة الأخيرة باتت َمقبولة وفي ُمتناول الأيدي مع تطُّور نوعية صناعته وإنتاجه، ويمكن َمعرفة الجدوى الاقتصادية لتركيب هذا النّظام عن طريق معرفة ُمّدة الاسترداد له التي سيُعيد خلالها تكاليفه؛ فكلما قلت هذه المّدة كان المشروع أجدى من النّاحية الماديّة.[١٣]



شكل(٢-٢) مخطط توضيحي لآلية عمل الخلايا الشمسية

٢-٤ أنواع الخلايا الشمسية

يُمكن تصنيع ألواح الخلايا الشمسية من عدّة مواد وبطرق مختلفة، لكنّ جميع الخلايا الشمسية تشترك في مبدأ عملها؛ وهي تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية،[١٥]

ومن أنواع الخلايا الشمسية ما يأتي:

1- خلايا شمسية سيليكونية أحادية البلورة :-

صُنعت الخلايا الشمسية في البداية من السيليكون أحادي البلورية، ممّا يعني أنّها كانت مُصنّعة من السيليكون النقي، ومن الجدير بالذكر أنّ عملية تصنيعها تبدأ بسحب بلورة بذرية من كتلة من السيليكون المصهور بهدف الحصول على سبيكة أسطوانية في بناء بلوري واحد متصل، بعدها تُقصّ البلورات إلى رقائق، ومن ثمّ تُصقل لبناء وصلة الموجب والسالب التي تُسمّى (p-n junction)، ثمّ تُطلى فيما بعد بطبقة مضادة للانعكاس، وأخيراً تُجمّع لتكوّن الخلية الشمسية، ويُشار إلى أنّ هذه الخلايا تمتاز بكفاءة عالية لكنّ عملية تصنيعها بطيئة وطويلة، ممّا يجعلها ذات سعر مرتفع مقارنةً بالأنواع الأخرى.[١٥]

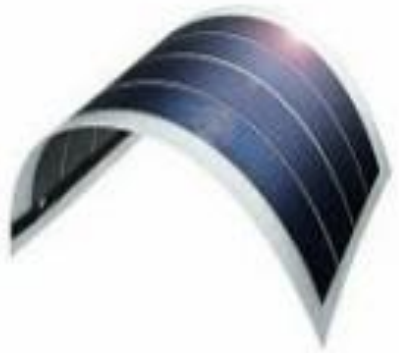
شكل (٢-٣)خلية شمسية احادية البلورة

٢- خلايا شمسية سيليكونية متعددة البلورات :-

تُصنّع خلايا السيليكون الشمسية متعددة البلورات من سبائك سيليكونية مُربّعة الشكل، وتتمّ عملية تصنيعها من خلال تبريد السيليكون المصهور وصبّه في كتل مُقسّمة إلى ألواح رفيعة، وينتُج عن تصلّبها خلايا تحتوي على العديد من البلورات، ومن الجدير بالذكر أنّ سطح هذه الخلايا يكون أقلّ فعاليةً في امتصاص أشعة الشمس مُقارنةً بسطح الخلايا السيليكونية أحادية البلورة، وبالتالي فإنّها تُنتج كميةً أقلّ من الطاقة الكهربائية، ولتعويض ذلك يكون حجمها أكبر من الخلايا الأخرى، ممّا يعني حاجتها لمساحة أكبر، لكنّ ذلك لا يُلغي أنّ عملية تصنيعها أسهل وسعرها أقلّ.[١٦]

شكل(٢-٤) خلية شمسية متعددة البلورات

٣-الخلايا الشمسية الرقيقة : تُحوّل الخلايا الشمسية الرقيقة الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية من خلال التأثير الكهروضوئي، وتتكوّن من طبقات مادة لها قدرة عالية على امتصاص فوتونات الضوء مُثّبتةً فوق ركيزة مرنة، ومن الجدير بالذكر أنّها قُدّمت للعالم في السبعينيات من قِبل باحثين في قسم الطاقة في جامعة ديلاوير في الولايات المتحدة الأمريكية، ومن ثمّ تطوّرت هذه التكنولوجيا تِباعاً حتّى وصلت للشكل الموجود اليوم، والذي يُستخدم بشكل واسع بسبب انخفاض سعرها وكفاءتها الجيدة.[١٧]



شكل (٢-٥)خليه شمسية رقيقة

٤- الخلايا الشمسية ذات الكفاءة العالية :-

طُوِّرت الخلايا الشمسية بسبب الحاجة لخلايا شمسية ذات كفاءة أعلى، لكنّ تكاليف صناعتها والمواد اللازمة لذلك تسبّبت في جعل انتشارها محدوداً حتّى اللحظة، ومن أنواعها ما يأتي: خلايا زرنيخيد الغاليوم: تُعد مادة زرنيخيد الغاليوم من المواد شبه الموصلة المشهورة في عالم الخلايا الشمسية، حيث يُمكن لكفاءتها أن تصل حتّى 30%، إذ تمتاز بخصائص كهربائية جيدة، بالإضافة إلى مقاومتها للحرارة.[١٥]

٥- الخلايا الشمسية متعددة الوصلات :-

يتمّ تطوير الخلايا الشمسية بشكل متسارع، وتُعدّ الخلايا الشمسية مُتعدّدة الوصلات تكنولوجيا حديثة قد ترفع من كفاءة الخلايا الشمسية في المستقبل لِما تملكه من قدرة على امتصاص أطوال موجية مختلفة من الإشعاع الشمسي باستخدام طبقات متعددة، ممّا يجعلها أكثر كفاءة من الخلايا أحادية الوصلة.[١٨]

٦-الخلايا التكنولوجية المُستجدة :-

يُمكن استخدام العديد من المواد للاستفادة من الإشعاع الشمسي في توليد الطاقة كما هو الحال عند استخدام المواد العضوية في خلايا بيروفسكايت الشمسية (Perovskite solar cells) ذات البناء البلوري المُحدّد، كما تحتوي هذه الخلايا على العديد من المواد، مثل الكلور، والبروم، واليود، والرصاص، وهي رخيصة نسبياً وذات كفاءة عالية، لكنّها محدودة الاستخدام بسبب قصر عمرها، ويُشار إلى وجود أنواع أخرى من الخلايا، ومنها ما يأتي:[١٥]

الخلايا الشمسية العضوية: تتكوّن من طبقات مبلمرة ذات كفاءة وانتشار محدودَين بالرغم من رخص ثمنها.

الخلايا الشمسية الصبغية: تُصنع من ثنائي أكسيد التيتانيوم، وتغلّف بطبقة رقيقة جداً من المُحسّسات، حيث تعتمد على تكنولوجيا النانو في التصنيع، ومن الجدير بالذكر أنّها لا تزال تحت الفحص المخبري التجريبي بالرغم من كفاءتها العالية نظرياً.

٢-٥ العوامل المؤثرة في كفاءة الخلية الشمسية [٢٨]

كما في المكائن الحرارية كذلك في الخلايا الشمسية هناك عوامل تؤثر في كفاءة إنتاج الطاقة الكهربائية ، ففي المكائن الحرارية تلعب درجة حرارة التبخير والتكثيف دورا أساسيا في تحديد الكفاءة النظرية لتوليد الطاقة الكهربائية ، إضافة بالطبع إلى كفاءة الأجهزة الوسيطة المستعملة ،

أما في الخلايا الشمسية فالكفاءة ليست محكومة بالعوامل التي تحد من كفاءة المكائن الحرارية ` إلا أن هناك اعتبارات أخرى تحد من كفاءة الخلايا الشمسية بحيث إنها لا تزيد عن ٢٥ %. أما العوامل المؤثرة على كفاءة الخلية الشمسية فهي:[٢٩].

١- العلاقة بين طاقة فوتونات ضوء الشمس وطاقة ربط الإلكترون بالذرة

٢- تحول طاقة الفوتونات الممتصة إلى حرارة إن الفوتونات التي طاقتها اكبر من طاقة ربط الإلكترون (طاقة التكافؤ) تصل على أعماق مختلفة داخل الخلية ، و يؤدي هذا إلى أن قسماً من الإلكترونات المحررة تتحرر من منطقة بعيدة عن نقاط الاتصال ولا تستطيع الوصول إليها وبهذا تضيع طاقتها الحركية على شكل حرارة ،

بالإضافة إلى ذلك فان ذلك الجزء من طاقة الفوتون التي تزيد عن طاقة الربط يكتسبها الإلكترون بشكل طاقة حركية لكنه لا يلبث أن يفقدها بشكل حرارة ذلك أنها طاقة زائدة عن حاجته للتحرر ، وفي خلايا السيليكون تبلغ الطاقة المفقودة بشكل حرارة ما يعادل ٤٣ %

مـن كميـة الطاقـة ا الممتصـة أو ٣٣ % مـن مجمـل طاقـة الطيـف الشمسي..[٣٠]

٣- تسـرب جـزء مـن التيـار الكهربـائي خـلال نقـاط الاتصـال. وتعتمـد قيمـة التيـار المتسـرب علـى درجـة حـرارة الخليـة ` وبالتـالي حـرارة نقـاط الاتصـال فكلمـا ارتفعـت درجـة الحـرارة هـذه ازدادت كميـة التيـار المتسـرب ` ومـن هنـا تـأتي أهميـة تبريـد الخلايـا الشمسـية ` فالكفـاءة النظريـة لخلايـا السـيليكون تصـل إلـى صـفر حيـث ترتفـع حرارتهـا إلـى ٣٠٠ درجة مئوية

٤- مصـادر خسـارة أخـرى تتمثـل بعكـس الخليـة لجـزء مـن الإشـعاع الشمسـي ` والخسـارة الناتجـة عـن إعـادة اتحـاد بعـض الإلكترونـات المحررة بالفجوات.

٢-٦ محاور تطوير الخلايا الشمسية.[٣١] :-

١. محاوله جعل تكنولوجيا تصنيع الخلايا الشمسية أقل كلفة وأكثر كفاءة.

٢. تطوير تكنولوجيا جديدة تعتمد على تصاميم معمارية وهندسية جديدة .

٣. تطوير وتصنيع مواد الكترونية لها قابلية أكبر على امتصاص الطاقة الشمسية وتحرير شحنات بعدد أكبر

٤. تطوير التصاميم الالكترونية للمواد المتوفرة حالياً وتحسين ظروف تصنيعها.

٢-٧ أبرز تطبيقات على الخلايا الشمسية

هناك العديد والعديد من التطبيقات التي تدخل الطاقة الشمسية في تركيبها وذلك لما لها من مميزات عدة في استخدامها، ومن أبرز تلك التطبيقات ما يلي:

• إنارة أعمدة الإنارة في الشوارع، أصبح الاعتماد على الخلايا الشمسية في أعمدة الإنارة في الشوارع أمراً بديلا عن توصيل الكوابل الكهربائية بين تلك الأعمدة.

• الأجهزة المحمولة التي تعتمد على الطاقة الشمسية، مثل الشواحن المحمولة، والهواتف، والساعات والكشّافات المزودة بالخلايا الشمسية..[٣٢]

• تصميمات الديكور، هناك العديد من التصميمات الديكوريّة التي تعتمد علي دمج الخلايا الشمسية الضوئية مما تعمل على إضافة لمسة جماليّة في المكان.

• أجهزة رفع ّ المياه من بطن الأرض، هناك بعض المضخات التي تعمل بالطاقة الشمسية، وبذلك تعد تلك الأجهزة هي بديلا عن الأجهزة الأخرى التي تعتمد على الكهرباء لهذه الآلية.

وعادة ما يتم استخدام تلك الطريقة في البلاد النائية التي تفتقر إلي الكهرباء والعديد من الخدمات والطاقات.

• التدفئة المنزلية ، حيث يتخذ غالبية الناس في أيام الشتاء من الشمس مصدراً جيدا للحصول على الدفء اللازم.

• تسخين المياه، وبهذه الآلية من استخدام الشمس مصدرا لتسخين المياه، فإن هناك العديد من أنواع الطاقات التي قد تشكل مصدرا ملوثًا للبيئة تكون قد تم الاستغناء عنها، واستُخدمت الطاقة الشمسية بدلا جيدًا.

• شحن البطاريات، تعتمد بعض من أنواع البطاريات على استخدام الخلايا الشمسية كمزود لها.[٣١].

٢-٨ مميزات الخلايا الشمسية

تتعدد مزايا الخلايا الشمسية ومن أهمها ما يلي :

١-مصدر للطاقة المتجددة

يمكن استخدام الطاقة لتوليد الكهرباء والحرارة في المنزل ، إما من خلال الطاقة الشمسية الكهروضوئية ، أو الطاقة الشمسية الحرارية ، ويتم استرداد الطاقة المتجددة من الشمس ، والرياح ، والأمواج ، ويعد مصدر الطاقة في هذه الحالة هي الشمس ، وتسخر الخلايا الشمسية الطاقة من الشمس وتحولها إلى كهرباء قابلة للاستخدام . [٣٣]

٢-الحد من استهلاك الكهرباء وتقليل الفواتير

نظرًا لأنه سوف يتم تلبية بعض الاحتياجات من الطاقة بالكهرباء التي يولدها النظام الشمسي ، ستنخفض فواتير الطاقة ، ويعتمد المبلغ الذي توفيره على الفاتورة على حجم النظام الشمسي ، واستخدام الكهرباء ، أو الحرارة ، علاوة على ذلك ، لن يتم فقط توفير فواتير الكهرباء ، بل هناك أيضًا إمكانية لاستلام مدفوعات مقابل فائض الطاقة الذي يتم ارجاعه مرة أخرى إلى الشبكة ، وذلك إذا كان يتم توليد كهرباء أكثر مما يتم استخدامه (بالنظر إلى أن نظام الألواح الشمسية تكون متصل بالشبكة) . [٣٤]

٣-تحافظ على البيئة من التلوث

تعتبر الخلايا الشمسية من أقل مصادر الطاقة تلويثاً للبيئة فهي تقريبا لا ينتج عنها أية تلوث إلا يحدث أي تلوث تقريبا إلا عند تصريف النفايات عند تركيبها وتثبيتها .

٤-طاقة طويلة الاجل

غالبًا ما تتمتع الأنظمة الكهروضوئية بحياة طويلة ومتانة جيدة ، وفي الوقت نفسه ، غالبًا ما يكون هناك ضمان بحد أدنى 20 عامًا على الألواح الشمسية ، مما يضمن للمستهلك الحصول على الصيانة والإصلاحات اللازمة في حالة حدوث أي مضاعفات . [٣٣]

٥-استخدامها في التطبيقات المتنوعة

يمكن استخدام الطاقة الشمسية لأغراض متنوعة ، حيث يمكن توليد الكهرباء (الضوئية) أو الحرارة (الطاقة الشمسية الحرارية) ، ويمكن استخدام الطاقة الشمسية لإنتاج الكهرباء في المناطق التي لا تصل لها شبكات الطاقة ، وكذلك تستخدم لتقطير المياه في المناطق ذات الإمداد المحدود بالمياه النظيفة ، وتزويد الأقمار الصناعية بالطاقة في الفضاء .

٦-انخفاض تكاليف الصيانة

لا تتطلب أنظمة الطاقة الشمسية عمومًا الكثير من الصيانة ، ليس على المستهلك سوى الحفاظ عليها نظيفة نسبيًا ، لذا فإن تنظيفها عدة مرات في السنة يمنعها من التلف ، ومعظم الشركات المصنعة للألواح الشمسية الموثوقة تقدم ضمانًا يتراوح من 20 إلى 25 عامًا أيضًا ، نظرًا لعدم وجود أجزاء متحركة ، وعادة ما يكون العاكس هو الجزء الوحيد الذي يجب تغييره بعد 5-10 سنوات لأنه يعمل باستمرار على تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء وحرارة (الطاقة الشمسية الكهروضوئية مقابل الطاقة الشمسية الحرارية) ، وبصرف النظر عن العاكس ، تحتاج الكابلات أيضًا إلى صيانة لضمان تشغيل نظام الطاقة الشمسية بأقصى قدر من الكفاءة .

٧-تطوير التكنولوجيا

تتقدم التكنولوجيا في صناعة الطاقة الشمسية باستمرار ، ويمكن للابتكارات في فيزياء الكم وتكنولوجيا النانو أن تزيد من فعالية الألواح الشمسية ، وتضاعف المدخلات الكهربائية لأنظمة الطاقة الشمسية . [٣٤]

٢-٩ مشاكل استخدام الطاقة الشمسية

إن أهم مشكلة تواجه الباحثين في مجالات استخدام الطاقة الشمسية هي وجود الغبار ومحاولة تنظيف أجهزة الطاقة الشمسية منه وقد برهنت البحوث الجارية حول هذا الموضوع أن أكثر من ٥٠ % من فعالية الطاقة الشمسية تفقد في حالة عدم تنظيف الجهاز المستقبل لأشعة الشمس لمدة شهر .إن أفضل طريقة للتخلص من الغبار هي استخدام طرق التنظيف المستمر أي على فترات لا تتجاوز ثلاثة أيام لكل فترة وتختلف هذه الطرق من بلد إلي آخر معتمدة على طبيعة الغبار وطبيعة الطقس في ذلك البلد..[٣٥] أما المشكلة الثانية فهي خزن الطاقة الشمسية والاستفادة منها أثناء الليل أو الأيام الغائمة أو الأيام المغبرة ويعتمد خزن الطاقة الشمسية على طبيعة وكمية الطاقة الشمسية ، و نوع الاستخدام وفترة الاستخدام بالإضافة إلي التكلفة الإجمالية لطريقة التخزين ويفضل عدم استعمال أجهزة للخزن لتقليل التكلفة والاستفادة بدلاً من ذلك من الطاقة الشمسية مباشرة حين وجودها فقط ويعتبر موضوع تخزين الطاقة الشمسية من المواضيع التي تحتاج إلي بحث علمي أكثر واكتشافات جديدة .ويعتبر تخزين الحرارة بواسطة الماء والصخور أفضل الطرق الموجودة في الوقت الحاضر . أما بالنسبة لتخزين الطاقة الكهربائية فما زالت الطريقة الشائعة هي استخدام البطاريات السائلة (بطاريات الحامض والرصاص) وتوجد حالياً أكثر من عشر طرق لتخزين الطاقة الشمسية كصهر المعادن والتحويل الطوري للمادة وطرق المزج الثنائي و غيرها ..[٣١] والمشكلة الثالثة في استخدامات الطاقة الشمسية هي حدوث التآكل في المجمعات الشمسية بسبب الأملاح الموجودة في المياه المستخدمة في دورات التسخين وتعتبر الدورات المغلقة واستخدام ماء خال من الأملاح فيها أحسن الحلول للحد من مشكلة التآكل والصدأ في المجمعات الشمسية..[٣٢]

The abstract

Voltage detectors are devices that convert electromagnetic energy into electrical energy in the form of current or voltage

In its work, it depends on the photoelectric phenomenon, as it consists of a junction between two semiconductors of opposite polarity (p-n junction). Among its applications are (solar cells), where the working principle of solar cells is based on absorbing sunlight and converting solar energy into electrical energy. Solar cells have several types, including (mono-crystalline, polycrystalline, thin-film, high-efficiency solar cells and new technology cells). Among the factors affecting the efficiency of the solar cell is the relationship between the energy of the photons of sunlight and the energy of binding the electron to the atom and the conversion of the energy of the absorbed photons into heat and the leakage of part of the electric current through the contact points.

The most important applications of solar cells: -

Street lighting poles

portable devices that rely on solar energy,

Decoration designs

- Devices for raising water from the ground
- Home heating
- Water heating
- Charge the batteries

Solar cells have several advantages and several disadvantages. One of their advantages is that they are long-term energy and preserve the environment from pollution. As for their defects, they are the problem of dust, as the cell must be cleaned to obtain the largest amount of energy in addition to the weather condition. On cloudy days, enough energy is not stored for later use.

٢-١٠ الاستنتاجات

١_ الكواشف الفولتائية لها عدة تطبيقات من ابرز تطبيقاتها هي الخلايا الشمسية التي تعتمد في عملها على الظاهرة الكهروضوئية

٢- تعتبر الخلايا الشمسية بديل مناسب لمصادر الطاقة الاخرى التقليدية من الغاز و الفحم و البترول المحدودة في الطبيعة و القابلة للنضوب بسبب الاستنزاف الهائل لها حيث ان الخلايا الشمسية تحول طاقة الاشعة الشمسية مباشرة الى كهرباء دون حصول تلوث للبيئة

٣- للخلايا الشمسية عدة انواع و ذلك حسب تركيبها و طريقة صنعها

٤- يمككنا التحكم في كفاءة الخلية الشمسية تبعا لعدة عوامل منها درجة الحرارة

٥- يمكن تطوير الخلايا الشمسية و الوصول لنتيجة اكثر كفاءه مستقبلا .

٦- بسبب مميزاتها المتعددة اصبحت تستخدم في تطبيقات واسعة حتى في المركبات الفضائية و الاقمار الصناعية إضافة لاستخدامها لتزويد المنازل بالطاقة الكهربائية

٧- من اهم المشاكل في استخدام الخلايا الشمسية هي وجود الغبار و محاولة تنظيف اجهزة الطاقة الشمسية منه.

المصادر

[١] https://automationforum.co/photovoltaic-detectors

[٢] M. Bähr, S. Kim, S. Sridharan, C. Khadilkar, A. Shaikh, I. Köhler, M. Reichardt, M. Kumar, to be published at this Conference

[٣]

بحث تأثير بعض العوامل على كفاءة الخلية الشمسية للطالبة رنده ماجد غازي

[٤]

" CIT" Collins Dictionary of Astronomy ©Market House Books Ltd, 2006

[٥]

Peter (2007). Sustainable energy systems engineering: the ،Gevorkian complete green building design resource. McGraw Hill Professional. ISBN 978-0-07-147359-0.

[٦]

Gevorkian, Peter (2007). Sustainable energy systems .engineering: the complete green building design resource McGraw Hill Professional. ISBN 978-0-07-147359-0.

[٧]

Lashkaryov, V. E. (1941) Investigation of a barrier layer by the ،thermoprobe method, Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Fiz. 5, 442–446 English translation: Ukr. J. Phys. 53, 53–56 (2008)] .2016

[٨]

"Light sensitive device" U.S. Patent 2،402،662 Issue date: June 1946

[٩]

Chris (6-1-2010), "COMPONENTS OF A RESIDENTIAL SOLAR ELECTRIC SYSTEM"،www.cleanenergyauthority.com ، Retrieved 5-10-2018. Edited

[١٠]

Kristen Hagerty, James Cormican, "COMPONENTS FOR ↑ YOUR SOLAR PANEL (PHOTOVOLTAIC) SYSTEM"، www.altestore.com, Retrieved 5-10-2018. Edited.

[١١]

Adam De Gree (6-5-2015), "Materials Used in Solar Panels"،www.azom.com, Retrieved 5-10-2018. Edited.

[١٢]

JESSIKA TOOTHMAN & SCOTT ALDOUS , "How Solar Cells ", How Stuff Works, Retrieved 29-10-2016.

[١٣]

How do solar cells work?", Physics.org, Retrieved29-10-2016"

[١٤]

" Solar Cells"،Chemistry Explained، Retrieved 29-10-2016.

[١٥]

Bethel Afework, Jordan Hanania, Kailyn Stenhouse, and others (2018-6-25), "Types of photovoltaic cells"، energyeducation.ca, Retrieved 2021-5-31. Edited.

[١٦]

Dennis S (2020-10-8), "Polycrystalline Silicon Cells: production and characteristics"، Sinovoltaics.com, Retrieved 2021-5-31. Edited.

[١٧]

Daniel Burgess (2020-1-23), "Thin-film solar cell"، www.britannica.com, Retrieved 2021-5-31. Edited.

[١٨]

Mark C (2020-4-21), "Multi-junction solar cells: what you need to know"، news.energysage.com, Retrieved 2021-5-31. Edited.

[١٩]

تعريف مصطلح «فيقياء» في المعجم البصري على موقع ديوان اللغة العربية. (تاريخ الاطلاع: 12 يونيو 2020) "

[٢٠]

Serway, Raymond A. (1990). Physics for Scientists & Engineers (ط. rd3). Saunders. ص. 1150. ISBN 0-03-030258-7.

[٢١]

Sears, Francis W., Mark W. Zemansky and Hugh D. Young (1983), University Physics, Sixth Edition, Addison-Wesley, pp. 843–4. ISBN 0-201-07195-9.

[٢٢]

"The Nobel Prize in Physics 1921". Nobel Foundation.

[٢٣]

Lenard، P. (1902). "Ueber die lichtelektrische Wirkung". Annalen der Physik. Bibcode:1902AnP...313..149L.

[٢٤]

Millikan، R. (1914). "A Direct Determination of "h."". Physical Review. Bibcode:1914PhRv....4R..73M.

[٢٥]

R. (1916). "A Direct Photoelectric ،Millikan .Determination of Planck's "h"" (PDF). Physical Review .Bibcodedoi:10.1103/PhysRev.7.355

[٢٦]

.G. C. Schmidt, Wied. Ann. Uiv. P. 708, 1898

[٢٧]

O. Knoblauch, Zeit.J. Physikalisclte Chemie, xxix. P. 527, .1899

[٢٨]

الجوخي عيسى محمد ، (مصادر الطاقة) مكتبة المجمع العربي . ٢٠٠٦

[٢٩]

إيهاب صلاح الدين ، كتاب الطاقة و تحديات المستقبل –، المكتبة الأكاديمية.١٩٤٤

[٣٠]

الخلايا الشمسية ، محرم عبد الكريم. مجلة الطاقة و الحياة : مجلة علمية تقنية -العدد الرابع – الربيع ٢٠٠٨

[٣١]

الخياط محمد مصطفى ، الطاقة (مصادرها-أنواعها- استخداماتها) القاهرة .٢٠٠٦

[٣٢]

علي فليح عجام ، د. نبيل محمد علي العبيدي (الكيمياء الصناعة وخاماتها) جامعة البصرة – كلية التربية ١٩٨٩.

[٣٣]

Advantages and Disadvantages of Solar Cells

[٣٤]

Pros and Cons of Solar Energy

[٣٥]

الحمداني، موفق مناهج البحث العلمي، الأردن، عمان، مؤسسة الوراق للنشر. ٢٠٠٦