

الانبار	الجامعة
العلوم	الكلية
الفيزياء	القسم
الرابعة	المرحلة
الخلايا الشمسية	اسم المادة باللغة العربية
	اسم المادة باللغة الانكليزية
وسام قهير عبد اللطيف	اسم التدريسي
تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية مع المادة (أشعة جاما).	عنوان المحاضرة باللغة العربية
	عنوان المحاضرة باللغة الإنكليزية
2	رقم المحاضرة

الفصل الثاني

تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية مع المادة (أشعة جاما).

تفاعل أشعة جاما مع المادة بإحدى الطرق الثلاث الآتية:

أ-تفاعل الكتروضوئي Photoelectric Effect وتسمى الظاهرة الإلكتروضوئية، وفي هذا التفاعل يتفاعل الفوتون (أشعة جاما) مع أحد الإلكترونات المرتبطة بالذرة أي مع أحد الإلكترونات في المستويات الداخلية للذرة فيختفي الفوتون تماما ويظهر الإلكترون الذري منطلق ويسمى الإلكترون الضوئي ويحمل طاقة تساوي الفرق بين طاقة الفوتون الساقط وطاقة ربط الإلكترون بالذرة.

$$E_e \text{ (Energy of electron)} = E_\gamma - B E_e$$

حيث أن BE_e هي طاقة ربط الإلكترون بالذرة و E_γ هي طاقة أشعة جاما.

ويملاً المكان الشاغر للإلكترون المنبعث بواسطة إلكترونات من المدارات الخارجية للذرة ويتبع ذلك إنبعث أشعة إكس المميزة للعنصر.

ب- أثر كومبتون Compton effect

وهو تفاعل أشعة جاما مع الإلكترونات الحرة للذرة (إلكترونات المدار الأخير). وفي هذا التفاعل يتشتت الشعاع الساقط أي يتغير اتجاهه، وتقل طاقته بمقدار ما يعطى للإلكترون من طاقة وينطلق هذا الإلكترون بطاقة E .

$$E = E_{\gamma} - E_{\gamma}^{-}$$

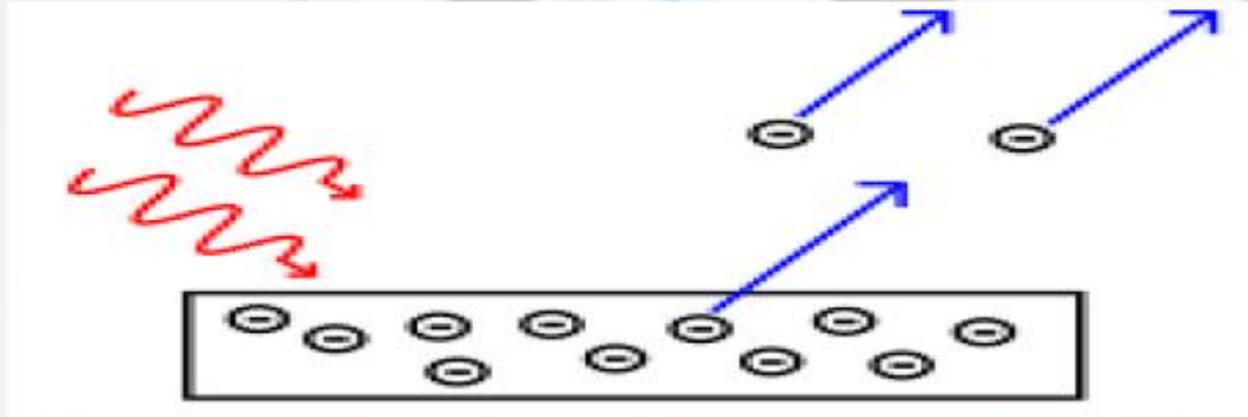
حيث E_{γ} طاقة أشعة جاما الساقطة و E_{γ}^{-} هي طاقة أشعة جاما بعد التشتت (الانحراف).

ج- إنتاج الأزواج Pair Production

عندما يتفاعل الفوتون (أشعة جاما) مع النواة يختفي تماما هذا الفوتون ويظهر بدلا عنه إلكترون وبوزيترون e^{-}, e^{+} ، وتحدث هذه الظاهرة عندما تكون طاقة جاما الساقطة أكبر من 1.022 Mev ، وبعد ذلك يفقد كل من الإلكترون والبوزيترون طاقتهم الحركية نتيجة للتصادمات المتتالية مع الذرات حتى يصلوا إلى السكون. ويتفاعل الإلكترون مع البوزيترون ويكونا فوتونين طاقة كل منهما 0.511 Mev (أشعة الفناء).

التأثير الكهروضوئي

يعرف التأثير الكهروضوئي بأنه تحرر الإلكترونات من سطح المعدن عند سقوط الضوء ذو التردد المناسب عليه، و يعتبر الرسم (1) هو ابسط رسم لفهم هذا التأثير. التردد المناسب هنا نقصد به تردد اكبر من التردد الطبيعي لمادة هذا المعدن، ليتمكن من التغلب عليه و تحرير الإلكترونات.



صورة (1): التأثير الكهروضوئي

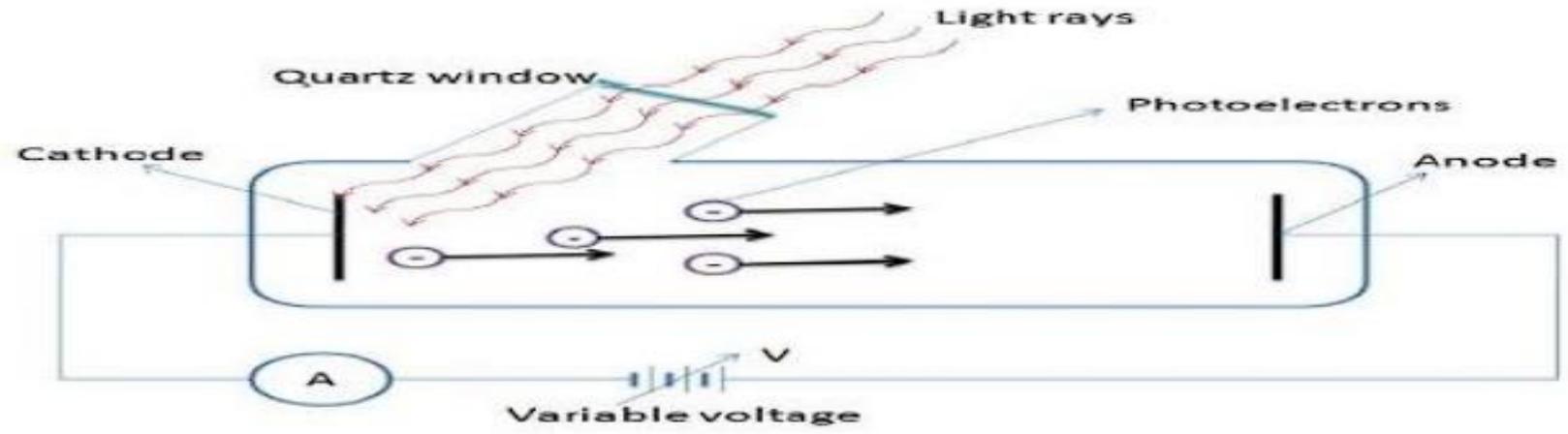
ظهر التأثير الكهروضوئي تجريبياً أولاً من قبل الفيزيائي الفرنسي إدموند بيكريل. في عام 1839م ، في سن التاسعة عشر ، بنى أول خلية ضوئية في العالم في مختبر والده. وصف ويلوبي سميث لأول مرة "تأثير الضوء على السيلينيوم أثناء مروره ووجد أن الناتج هو التيار الكهربائي" ، في عدد 20 فبراير 1873م من الطبيعة ، وفي عام 1883م قام تشارلز فريتس ببناء أول خلية كهروضوئية صلبة عن طريق

طلاء أشباه الموصلات مع السيلينيوم بطبقة رقيقة من الذهب تكون على شكل تقاطعات ؛ قام بطلاء السيلينيوم بطبقة رقيقة للغاية من الذهب ، لذلك كان شفافاً للضوء ، وحصل على كفاءة تحويل الطاقة بين 1 و 2 ٪. ولأنه لا يمكن فهم التأثير الكهروضوئي ، اتصل فريتس بالخبير الشهير ، ويرنر فون سيمنس ، الذي أعاد إنتاج التأثير واكده.

لم يكن لدى هؤلاء الرواد و علمائهم فهم أعمق لهذا التأثير وبالتالي لم يتمكنوا من تطوير الخلايا الشمسية بشكل أكبر. في المقابل ، اكتشف مايكل فاراداي تأثير الحث الكهرومغناطيسي في عام 1831م وكان مفهوماً جيداً. هذا أدى إلى التطور السريع للمولدات الكهربائية التي تعمل على البخار أو قوة الماء التي تعمل بالفحم وأصبح وسيلة لإنتاج الطاقة الكهربائية على نطاق واسع.

تجربة فرانك هيرتز

قام العالم هيرتز بعمل نظام لشحن سطح من الزنك عن طريق شحن سلبى وتعرضه للإشعاع الصادر عن مصباح بخار الزئبق، كما بالصورة (12)، ولاحظ فقدان الشحنة تدريجياً حتى الحدث. لأننا نعلم أنه عندما تنكشف أشعة المصباح على سطح الزنك ، فإن بعض الإلكترونات ستكون خالية من السطح ، وكان يعرف بالفعل باسم الكهروضوئي هنا يحدث تنافر بين الإلكترونات و سطح الزنك الحر ، عندما تريد الابتعاد.



1- وضع هيرتز صفيحة زجاجية بين المصباح و سطح الزنك بحيث تسقط الأشعة على اللوح ، ثم تقرب المصباح وبالتالي زيادة شدة الإضاءة ، ولكن في كلتا الحالتين لم يغير أي من الشحنة.

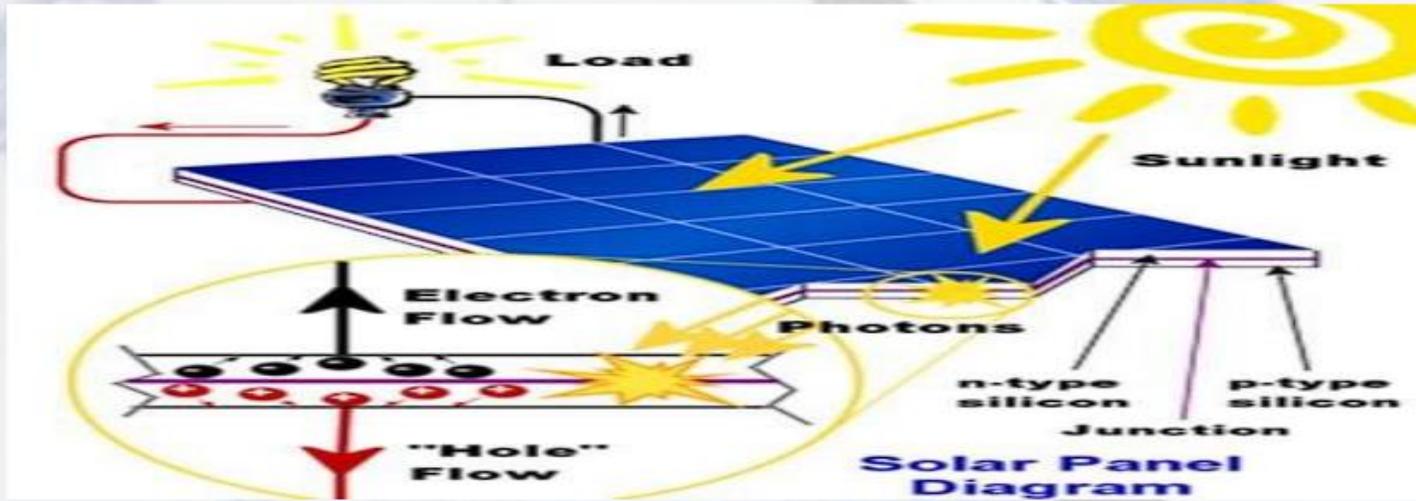
عندما يمر الإشعاع من خلال اللوحة الزجاجية ، يمتص الإشعاع فوق البنفسجي ، والذي يظهر أنه العامل الذي يؤدي إلى خروج الإلكترونات ، لأن ترددتها يكفي لاستخراج الإلكترونات من الزنك.
كما أن القرب من المصباح لم يتأثر مما يدل على أن شدة الإضاءة لا تتعلق بحدوث الظاهرة بل بتواتر ضوء المؤشر.

2- عندما تم شحن سطح الزنك بشحنة موجبة وتعرض لنفس الإشعاع ، لم يلاحظ أي تغيير في الشحنة.
حيث يحدث بعد تلاعب الإلكترونات بينها وبين سطح الزنك يبقى شحناتها سليمة.

في عام 1905م اقترح ألبرت أينشتاين نظرية كمية جديدة للضوء وشرح التأثير الكهروضوئي في ورقة تاريخية ، والتي حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1921م.

التأثير الفولتوضوئي

يمكن تعريف التأثير الفولتوضوئي بأنه مماثل بعض الشيء للتأثير الكهروضوئي و لكن يختلف عنه بالنقاط الآتية و من الممكن ملاحظة اغلبها من الرسم الآتي(13):

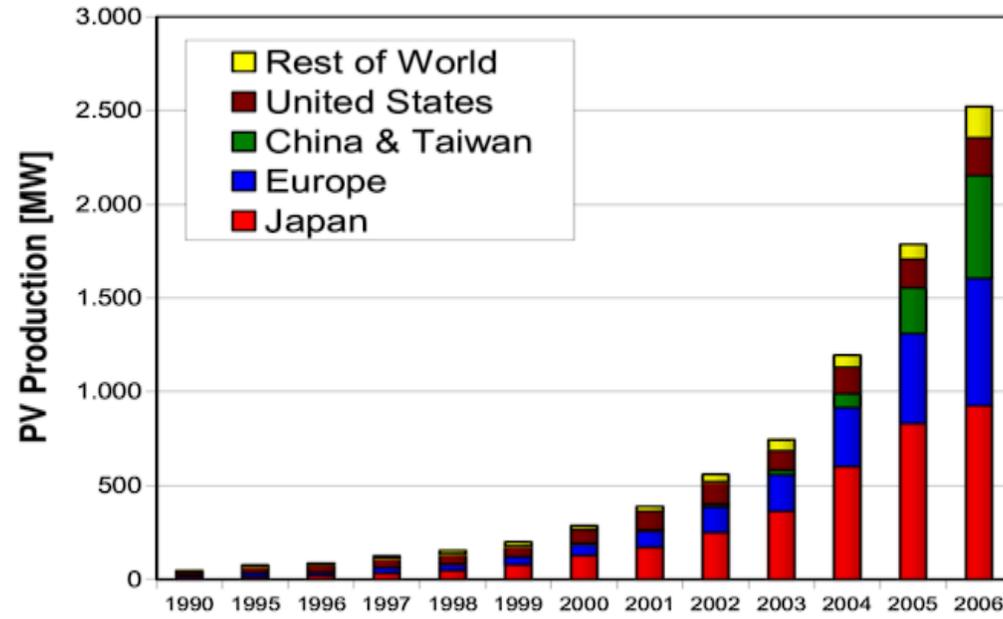


صورة(13): التأثير الفولتوضوئي

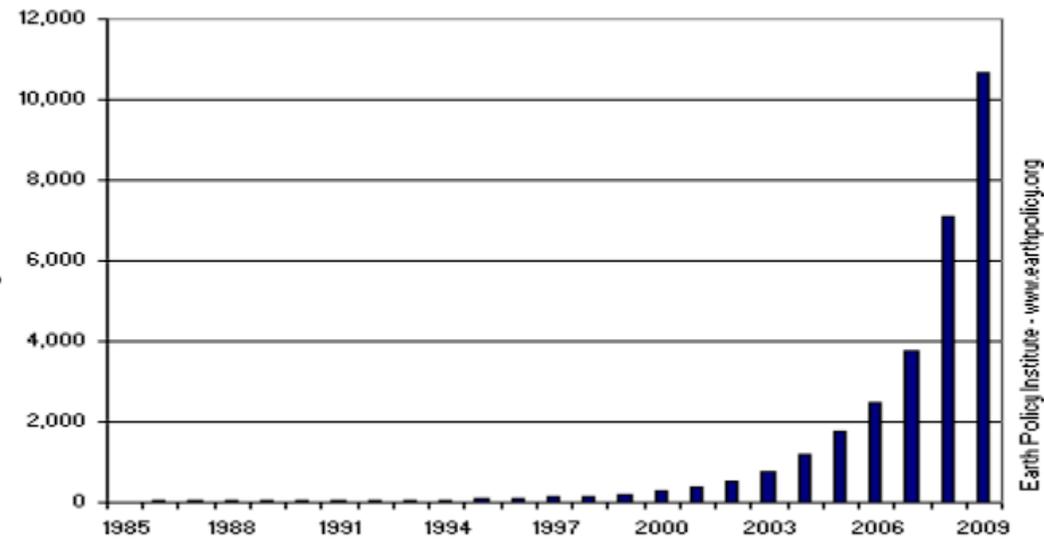
اولاً انه يحتاج إلى سطحان يتم التبادل للإلكترونات بينهم حيث ان احدهم يحوى عدد كبير من الإلكترونات و الاخر ينقصه الإلكترونات.

ثانياً انه لا يحتاج إلى مصدر للتيار الكهربى ليقوم بتحريكه.

من هنا يمكننا القول ان فكرة عمل الخلايا الشمسية هي التأثير الفولتوضوئي، حيث انه يوجد طبقة ذات تشويب سالب اى بها عدد كبير من فائض الإلكترونات و اخرى ذات تشويب موجب اى ينقص بها عدد الإلكترونات، عندما يسقط الضوء تبدأ الإلكترونات بالجزء السالب بالحركة و الانتقال إلى الجزء الموجب لتحل محل الفجوات حتى تسرى بالدائرة الكهربائية او تفقد طاقتها الزائدة و تعود لمحلها.



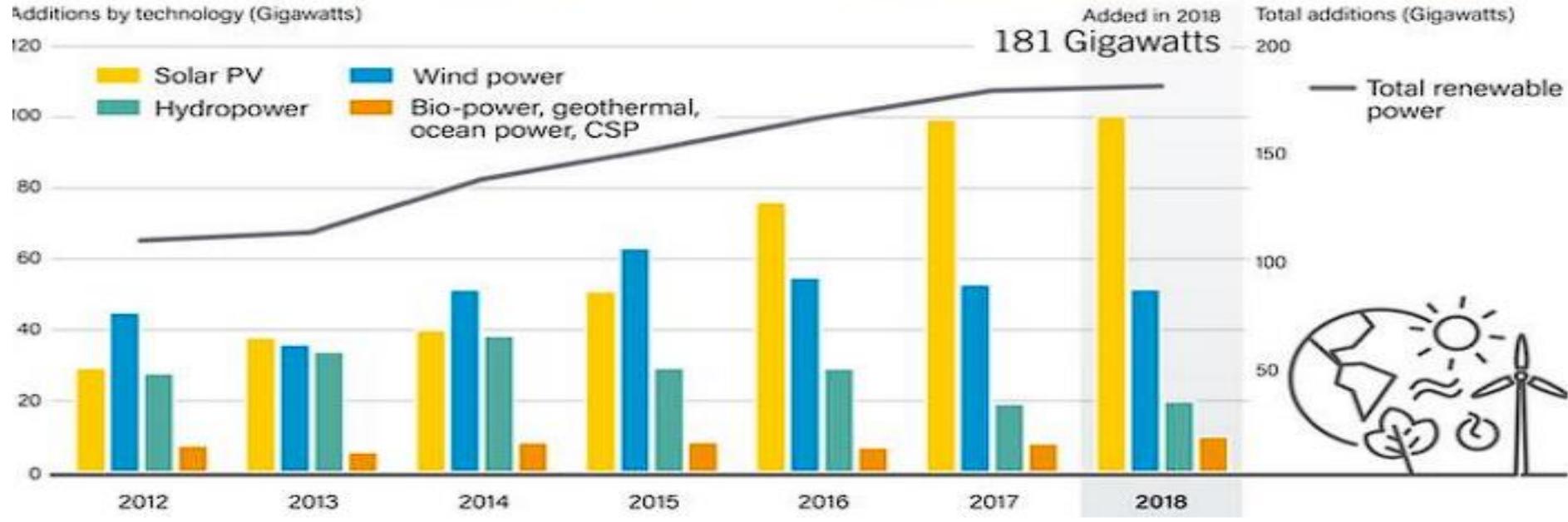
World Annual Solar Photovoltaics Production, 1985-2009



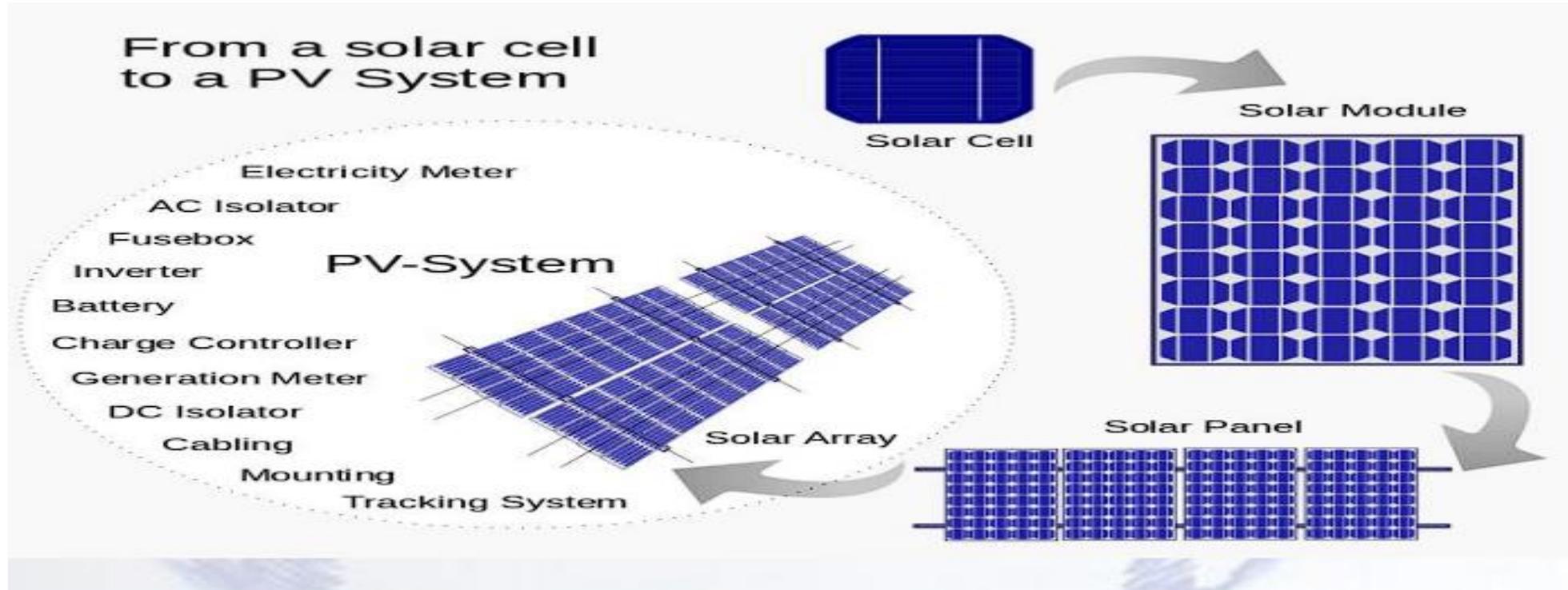
Source: EPI from Worldwatch; Prometheus Institute; Greentech Media

علاقة بين انتاج الخلايا الشمسية على مدار الاعوام من 1990م إلى عام 2006م في عدد من الدول الكبرى بمجال الصناعة التكنولوجية الحديثة.

إحصائية توضح معدل انتاج الطاقة عبر الخلايا الشمسية منذ عام 1985م إلى 2009م و كما نرى انها بارتفاع مستمر و بنمط متزايد.



حيث نرى ان الطاقة الشمسية اعلى بكثير من غيرها باخر عامين و متقاربة مع غيرها في الاعوام قبل ذلك، هذا لان طاقه الرياح قد بدأ استغلالها قبل الطاقة الشمسية و لكن عندما بدأت تكنولوجيا الخلايا الشمسية تتحسن وضح قيمتها و كفاءتها بانتاج الطاقة و اصبحت الافضل بينهم من حيث العائد.



يجب ان نكون على دراية بان الخلية الشمسية لا توضع وحدها و حسب بل هي جزء من منظومة و هي العامل الاساسى و الاهم بها.

حيث كما نرى فى الرسم ()، تجمع عدد كبير من الخلايا الشمسية معاً تشكل الموديل او وحده و المجموعة منها تسمى باللوح الشمسية، من ثم مجموعة من الالواح لتدعى بالمصفوفة و مجموعة من المصفوفات لتسمى بنظام للطاقة الشمسية .

لكن يجب ان تدرك ان توصيل الخلايا مع بعضها البعض له عدة قواعد، فيمكن ان توصل على التوالي حيث يصبح محصلة تلك الخلايا هو مجموع الفولتية للخلايا و اقل امبير (شدة تيار)، او التوازي حيث يصبح العكس مجموع الامبير و اقل فولتية. هناك نقطة اخرى يجب توضيحها ان الشكل النهائي للخلايا الشمسية ليس ما نتحدث عنه حتى الآن حيث انه يوجد عدة امور يمكن احتسابها مكمله و لكنها مهمة للغاية،

كالغلاف الحامى للخلية من التربة، و كذلك الاصابع العلوية و المعدن السفلى لتحصل على الالكترونات عبرهم إلى الاسلاك لتتمكن من استخدام الطاقة الناتج

الخلايا الشمسية

الجيل الثالث

خلايا شمسية عضويه

خلايا شمسية صبغيه

الجيل الثاني

خلايا الاغشيه الرقيقه

خلايا CdTe

خلايا CIGS

الجيل الاول

خلايا احاديه التبلور

خلايا متعددده البلورات

الجيل الاول للخلايا الشمسية

يعتمد بشكل أساسي على رقائق السليكون وعادة ما تظهر كفاءة حوالي 15-20 % . هذه الأنواع من الخلايا الشمسية تهيمن على السوق (الأكثر توافراً بالأسواق) وهي بشكل رئيسي تلك الموجودة على أسطح المنازل . تكمن فوائد تقنية الخلايا الشمسية هذه في أدائها الجيد ، فضلاً عن استقرارها العالي . ومع ذلك ، فهي صلبة وتتطلب الكثير من الطاقة في الإنتاج . لا يزال يمثل أكثر من 80 % من سوق الخلايا الشمسية هناك نوعان من الخلايا الشمسية السليكونية البلورية .

الخلايا الشمسية أحادية البلورات:

أقدم الخلايا الشمسية التي لا تزال الأكثر شعبية وفعالية هي الخلايا الشمسية المصنوعة من رقائق السليكون الرقيقة . تسمى هذه الخلايا الشمسية أحادية البلورية لأن الخلايا مقسمة إلى شرائح من بلورات مفردة كبيرة نمت بعناية في ظل ظروف محكمة بعناية . عادةً ما يبلغ عرض الخلايا بضع بوصات ويتم وضع عدد من الخلايا في شبكة لإنشاء لوحة .

يتميز بشكله الناعم والمتجانس بغض النظر عن النوع أو الشكل الداخلي الخاص بالبلورة كما هو مبين في الشكل (23) .



يمكننا أن نرى القطع في البلورة ا ، لتوزيع الزخم(يجعل من الصعب كسر الخلية كذلك).

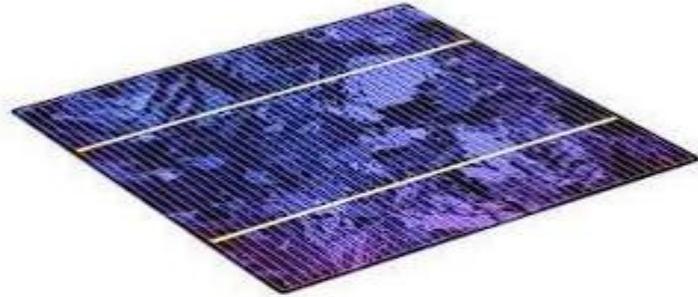
بالمقارنه معالانواع الأخرى من الخلايا ، تتمتع هذه الخلايا بكفاءة أعلى (تصل إلى 24.2 %) مما يعني أنك ستحصل على المزيد من الكهرباء من منطقة معينة من اللوحة . هذا مفيد إذا لم يكن لديك سوى مساحة محدودة لتركيب الألواح الخاصة بك أو تريد الاحتفاظ بالتثبيت لأسباب جمالية صغيرة. ومع ذلك ، فإن بلورة كبيرة من السيليكون النقي هي عملية صعبة وتستهلك الكثير من الطاقة ، لذا فإن تكاليف الإنتاج لهذا النوع لها تاريخياً هي الأعلى من جميع أنواع الألواح الشمسية.

لقد تحسنت طرق الإنتاج من خلال الحوض الصغير ، كما انخفضت أسعار السيليكون الخام وكذلك لبناء الألواح من الخلايا الشمسية أحادية البلورة بشكل كبير على مر السنين ، مما أدى إلى تنافس جزئي بسبب إنتاج أنواع أخرى من الألواح.

هناك مشكلة أخرى يجب وضعها في الاعتبار بشأن الألواح المصنوعة من خلايا السيليكون أحادية البلورية وهي أنها تفقد كفاءتها مع زيادة درجة الحرارة حوالي 25 درجة مئوية ، لذلك يجب تثبيتها بطريقة تسمح للهواء بالتدوير فوق الألواح لتحسين كفاءتها.

الخلايا الشمسية متعددة البلورات:

تعتبر أرخص في تكلفه الإنتاج عن رقائق السيليكون احادية البلورة، تتكون من قوالب من بلورات سيليكون متعددة بدلاً من بلورة واحدة يمكننا أن نعرف أنه من الرؤية الأمامية للخلية كما هو موضح في الشكل (24) ، حيث لا تحتاج ظروف النمو إلى أن تكون بإحكام خاضع للسيطرة. في هذا الشكل ، ينمو عدد من بلورات السيليكون المتشابكة معًا. الألواح المستندة إلى هذه الخلايا أرخص لكل منطقة موحدة من الألواح أحادية البلورية ولكنها أيضًا أقل قليلاً في الكفاءة (حتى 19.3%).



**Poly-Crystalline
Solar Cell**



**Mono-Crystalline
Solar Cell**

الجيل الثاني للخلايا الشمسية

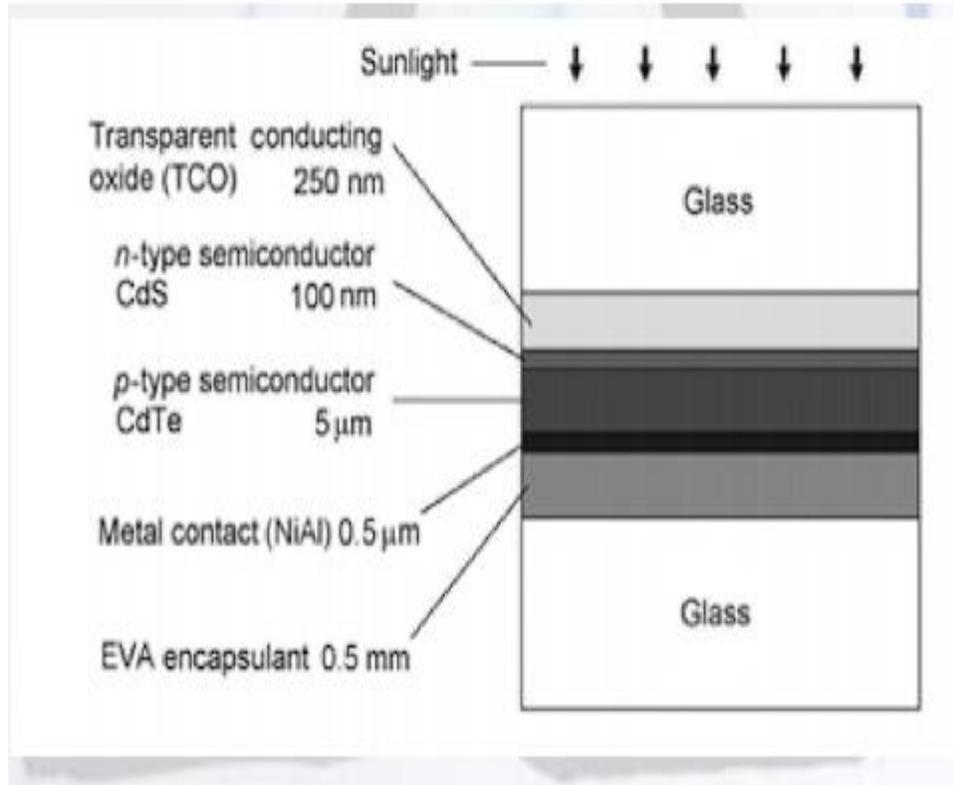
تعتمد على السليكون غير المتبلور ، CIGS (نحاس انديوم جاليوم سلينايد) و CdTe (كادميوم تلينايد)، حيث تبلغ كفاءتها 10-15%، منذ الجيل الثاني من الخلايا الشمسية تتجنب استخدام رقائق السيليكون و نجد ان لديها استهلاك أقل للمواد ، و هذا يجعل انه من الممكن تقليل تكاليف إنتاج هذه الأنواع من الخلايا الشمسية مقارنة بالجيل الأول .يمكن أيضًا إنتاج الجيل الثاني من الخلايا الشمسية بحيث تكون مرنة إلى حد ما .ومع ذلك ، نظرًا لأن إنتاج الخلايا الشمسية من الجيل الثاني لا يزال يتضمن عمليات تفريغ ومعالجات ذات درجة حرارة عالية ، و علاوة على هذا، نجد ان الجيل الثاني من الخلايا الشمسية تعتمد على العناصر النادرة وهذا عامل محدد في السعر.

الخلايا الشمسية الغير متبلورة:

العيب الرئيسي للسيليكون هو معامل امتصاصه المنخفض. ومع ذلك ، من خلال تناول مادة السيليكون غير المتبلورة بشكل كبير مع الهيدروجين ، يمكن جعل معامل الامتصاص الخاص بها يصل إلى 10^{-5} cm^{-1} ، مع تحول فجوة النطاق من 1.1 eV إلى 1.75 eV ، على غرار تلك الموجودة في CdTe ، غالبًا ما يتم اختصار هذه المادة على أنها Si-H . بسبب كثافة العيوب العالية ، لاحظ ان معدل الكفاءة مرتفع . تبلغ كفاءة أفضل الخلايا الشمسية التجريبية Si:H حوالي 10 % ، وبالنسبة للخلايا الشمسية المنتجة بكميات كبيرة ، فهي حوالي 5 %.

خلايا CdTe الشمسية:

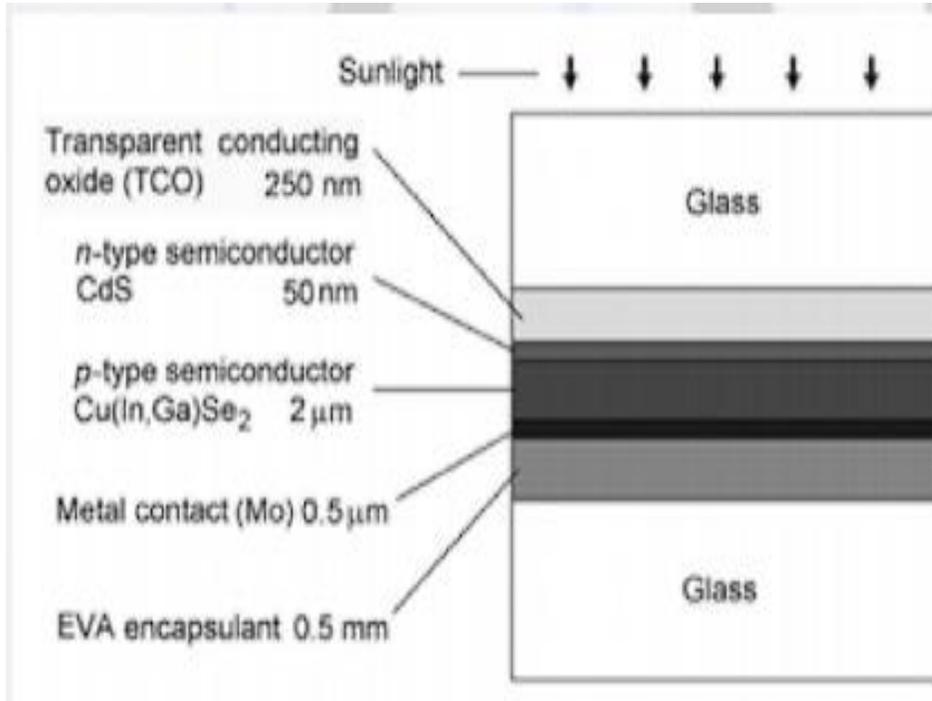
نظراً لامتصاصها المرتفع وسهولة تصنيعها و خصوصاً للجزء الموجب بها، فإن الكاديوم تيلورايد (CdTe) هو حالياً المادة الأكثر شعبية للخلايا الشمسية الرقيقة ، وهناك ميزة أخرى هي توافقها مع CdS ، وهي أشباه الموصلات ذات النطاق العريض التي من السهل أن تولد من نوع ن ل م فاي .لأن حافة امتصاص CdS هي 2.4 eV ، فهي شفافة لمعظم الإشعاع الشمسي. يظهر الشكل النموذجي للخلية الشمسية CdTe في الشكل (25) ، كما هو موضح ، تقع الخلية الشمسية بين لوحين من زجاج النوافذ. تتكون الخلية الشمسية من 5 ميكرون فاي ل م من تيل كد، وتغطي مع أقراص مدمجة 100 نانومتر رقيقة ل م فاي ولتشكيل السندات الإذنية تقاطع.



يعتبر الجانب المشرق هو انها تعتمد على اغشيه رقيقه من TCO، للسماح الإشعاع بالنفاذ و هي بمثابة موصل، و يوجد على الجانب الخلفي معدن بمقدار ميكرومتر للاتصال الكهربائي من ثم يضاف 0.5 مم من EVA للحماية الميكانيكية.

أفضل كفاءة للخلايا الشمسية CdTe هي 16.5%، ومن المتوقع أن تصل إلى 20%.

خلايا CIGS الشمسية:



تم اكتشاف نظام $\text{CuInSe}_2 / \text{CdS}$ في عام 1974م ككاشف للضوء الكهروضوئي. في عام 1975م، تم بناء خلية شمسية باستخدام هذه المواد التي أظهرت قوة مقارنة مع الخلايا الشمسية السليكونية في ذلك الوقت، في عام 2000م بلغت كفاءة خلايا CIGS الشمسية الرقيقة 19.9%، مقارنة بالخلايا الشمسية الكريستالية السليكونية، فجوة النطاق لـ CuInSe_2 قريبة جداً من القيمة المثلى، لكن معامل امتصاصها أكبر بحوالي 100 مرة من السليكون. ولذلك، حتى لو كان لـ م أشباه الموصلات فاي رقيقة مثل 2 ميكرون، وأكثر من 90% من الضوء القريب من الأشعة تحت الحمراء والمرئية سيتم استيعاب. يظهر الشكل النموذجي للخلية الشمسية CIGS في الشكل

وعلى غرار الخلايا الشمسية CdTe، يتم استخدام 50 نانومتر من هذا الشبه موصل على هيئة شبه موصل سالب لتشكيل الوصلة الثنائية، و نظراً لأن كمية الكاديوم المستخدمة هنا صغيرة جداً ، وتقع بين لوحين زجاجيين ، فإن التأثير على البيئة ضئيل. يمكن إنتاج الخلية الشمسية CIGS بعملية رطبة ، دون الحاجة إلى فراغ. لذلك ، يمكن أن تكون تكلفة التصنيع منخفضة. ميزة أخرى للخلايا الشمسية CIGS هي أنه يمكن إجراء التوصيلات البينية على نفس الهيكل ، على غرار الدائرة المتكاملة ، وبالتالي يمكن إجراء خلية مفردة عالية الجهد ، على سبيل المثال 12 فولت ، دون الحاجة إلى اتصالات خارجية.

يستخدم مواد عضوية مثل الجزيئات الصغيرة أو الصبغية. وبالتالي ، فإن الخلايا الشمسية الصبغية هي فئة فرعية من الخلايا الشمسية العضوية. الجيل الثالث يحوى أيضاً الخلايا الشمسية التجريبية (اي المصنعة بالمعمل و تستخدم داخل المعمل فقط) عالية الأداء والمكلفة عالية الأداء التي تحمل الرقم القياسي العالمي في أداء الخلايا الشمسية. هذا النوع لديه تطبيق تجاري إلى حد ما فقط بسبب ارتفاع سعر الإنتاج. فئة جديدة من الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة قيد الدراسة حالياً تثبت أن الخلايا الشمسية تبدي إمكانات هائلة مع كفاءة قياسية تتجاوز 20 ٪ في منطقة صغيرة جداً. من ناحية أخرى ، تقدم الخلايا الشمسية الصبغية أو الخلايا الشمسية العضوية العديد من المزايا مثل إنتاج واسع النطاق وسريع وغير مكلف واستخدام مواد تكون متاحة بسهولة وربما غير مكلفة. يمكن تصنيع الخلايا الشمسية البوليمرية باستخدام تقنيات صناعية معروفة (R2R) يمكن مقارنتها بطباعة الصحف. على الرغم من أن أداء واستقرار الخلايا الشمسية من الجيل الثالث لا يزال محدوداً مقارنة بالخلايا الشمسية من الجيل الأول والثاني ، إلا أنهما يتمتعان بإمكانيات كبيرة ويتم تسويقهما بالفعل. ازداد الاهتمام البحثي بالخلايا الشمسية البوليمرية بشكل ملحوظ في السنوات الأخيرة، ومن الممكن الآن إنتاجها بسعر يمكّن مشاريع مثل مبادرة OPV المجانية.

يتضمن هذا الجيل الكثير من الأنواع:

أ. الخلايا الشمسية العضوية

ب. الطاقة الشمسية الحساسة للصبغة