

EL FUTURO DE LAS TECNOLOGÍAS FOTOVOLTAICAS. EFICIENCIA, FIABILIDAD Y BAJO COSTE

AUN CUANDO LA PASADA SUBASTA DE ENERGÍA A LARGO PLAZO EN MÉXICO FUE MUY EXITOSA, LAS PROPUESTAS MÁS BAJAS ALCANZARON UN PRECIO RECORD DE 36 \$/MWh, INCLUYENDO LOS CERTIFICADOS DE ENERGÍA LIMPIA, LA INDUSTRIA SOLAR BUSCA MEJORES SOLUCIONES QUE UN BAJO COSTE DE LOS PANELES SOLARES, PORQUE EN MUCHAS MANERAS LOS PANELES SE HAN CONVERTIDO EN UN PRODUCTO BÁSICO, DONDE ES DIFÍCIL DIFERENCIAR ENTRE DIVERSOS FABRICANTES.

Ante ello, cabe preguntarse ¿Que tecnologías dominaran el paisaje de la industria fotovoltaica? Quizá la respuesta sea arriesgada, pero hay bases científicas para sostenerla: los nuevos paneles solares serán más eficientes, más baratos y más fiables.

Dado que un panel solar es un circuito electrónico que tiene una serie de uniones PN (Positivas y Negativas), o sea que es una serie de diodos conectados en serie y paralelo según se requiera. Teniendo experiencia en el diseño y construcción de semiconductores, es posible afirmar que los nuevos paneles solares usarán mejor tecnología, materiales y procesos de fabricación más avanzados, lo que da mucha confianza de que esta predicción se cumpla.

¿Qué está pasando en la industria que permite que los paneles solares se vendan a menos de 0,5 \$/W?

Esto implica que los fabricantes los produzcan a menos de 0,35 \$/W, un proceso normal para fabricar paneles solares, ya sea usando tecnología poli o mono-cristalina, requiere alrededor de 15 pasos en su proceso, para capa delgada el número de procesos es menor. Esto implica que para tener buenos márgenes de ganancia el rendimiento total debe de ser de al menos 70%.

Debido a que en la gran mayoría de los países, los incentivos para que las energías renovables sean competitivas con los combustibles fósiles y logren la paridad de red se van a terminar dentro del siguiente lustro, los fabricantes de paneles solares van a tener que mejorar sus productos, lo que requiere tecnologías más innovadoras, materiales más sofisticados y mejores procesos de producción.

Para incrementar el rendimiento, se automatizan los procesos en la industria usando robots, asimismo se han tomado prestadas muchas herramientas y tecnología de la industria de las pantallas planas y también de la de semiconductores, y por tanto existe un gran acervo de conocimiento.

Desde el punto de vista de los materiales, también existe un gran esfuerzo en mejorar la calidad de los paneles y mientras se reduce su precio, por ejemplo, para hacer interconexiones la industria está cambiando la pasta de plata, con un precio promedio en el rango de 495 \$/kg, por otros metales más baratos y que se aplican más fácilmente incluyendo cobre y aluminio. Algo que se ha hecho durante décadas en la industria de semiconductores.

Se prevé que el cobre empezará a ser usado en grandes cantidades en 2018, usando técnicas de plateado y que para 2025 el 25% de los paneles utilizarán cobre. Pero la gran revolución en materiales es el uso en paneles mono-cristalinos de sustratos dopados o contaminados con materiales tales como fósforo y arsénico (negativos, N), que tienen como conductores mayoritarios a los electrones. Durante mucho tiempo la tecnología predominante

THE FUTURE OF PV TECHNOLOGIES. EFFICIENCY, RELIABILITY AND LOW COST

DESPITE THE HUGE SUCCESS OF THE LATEST ENERGY AUCTION IN MEXICO, THE LOWEST OFFERS ACHIEVED A RECORD PRICE OF US\$36/MWh, INCLUDING CLEAN ENERGY CERTIFICATES, THE SOLAR INDUSTRY IS LOOKING FOR SOLUTIONS THAT ARE BETTER THAN LOW COST SOLAR COLLECTORS, BECAUSE IN MANY WAYS, PANELS HAVE TURNED INTO A BASIC PRODUCT THAT IS HARD TO DIFFERENTIATE BETWEEN THE VARIOUS MANUFACTURERS.

First off it is worth asking which technologies dominate the photovoltaic industry landscape. The answer may be risky however there are scientific bases to support it: new solar panels will be more efficient, cheaper and more reliable.

A solar panel is an electronic circuit that contains a series of PN (Positive and Negative) junctions or rather it is a series of diodes connected in series and in parallel as required. With experience in the design and construction of semiconductors, it is possible to confirm that the new solar panels will use better technology, materials and more advanced manufacturing processes, a fact that gives a great deal of confidence that this prediction will be met.

What is going on in the industry that allows solar panels to sell for less than 0.5 \$/W?

This implies that the manufacturers produce them at less than 0.35 \$/W in a normal process for manufacturing solar panels, as whether poly- or mono-crystalline technology is used, some 15 stages are involved in the process. For the thin layer the number of processes is lower. This means that to achieve good margins, the total profit has to be at least 70%.

Due to the fact that in the majority of countries, the incentives for renewables to become competitive with fossil fuels and achieve grid parity are going to be established over the next ten years, solar panel manufacturers are going to have to improve their products and this will involve more innovative technologies, more sophisticated materials and improved production processes.

To increase profitability, industrial processes are automated using robots. Similarly many tools and technology have been borrowed from the flat screen industry and also from the semiconductor sector. As such, a wealth of knowledge already exists.

From the point of view of the materials, there is also a big effort to improve the quality of the panels and at the same time, bring down their price. For example, by making interconnections, the industry is changing the silver paste, with an average price in the region of 495 \$/kg, for other cheaper metals that can be more easily applied including copper and aluminium, something that the semiconductors industry has been doing for decades.

Copper is expected to start being used in large quantities in 2018, using plating techniques, and by 2025, 25% of panels will use copper. However, the great revolution in terms of materials is the use of substrates in monocrystalline panels that have been doped or contaminated by materials

ha sido de sustratos contaminados con impurezas de boro (positivo, P) donde los conductores mayoritarios son huecos.

¿Qué beneficio tiene este cambio? Por lo pronto la eficiencia se incrementa porque la resistencia interna del panel es más baja y a menor resistencia más corriente, además los sustratos de tipo N son más delgados y por tanto más ligeros. Pero también no sufren de la degradación inicial que experimentan los dispositivos de tipo P cuando la luz del sol los ilumina por primera vez, efecto denominado Degradación Inducida por la Luz (Light Induced Degradation, LID en inglés).

Otros dos efectos beneficiosos por el uso de dispositivos tipo N, es que la vida de los portadores se incrementa, ya que los portadores mayoritarios son electrones y no huecos como en el caso de los dispositivos tipo P, con lo que es posible, de hecho, obtener una mejora en los valores del voltaje en circuito abierto y en el factor de llenado.

Aún tal vez más importante, es el hecho de que también se estén utilizando nuevas arquitecturas, que permiten una mayor eficiencia de los paneles, entre ellas podemos mencionar la arquitectura PERC (Passivated Emitter Rear Cell, en inglés), esto quiere decir que el emisor se ha pasivado, ya sea con óxido de silicio o con nitrato de silicio, lo que permite suprimir la recombinación superficial de huecos y electrones facilitando que llegue más corriente a los electrodos.

Por otro lado, tener los contactos en la parte posterior de la celda permite que se convierta más luz en electrones. En los paneles normales al menos un 3% del área activa se pierde por las líneas de interconexión. Otras arquitecturas de interés son: HIT (Heterojunction with Thin Layer) de Panasonic, PERL (Passivated Emitter, Rear Locally Diffused), etc.

Los paneles con arquitectura PERC han alcanzado eficiencias tan altas como el 25% en laboratorio, para paneles fabricados en serie este rendimiento está en el orden del 21,5% para paneles monocristalinos y en el 19,8% para paneles policristalinos, sin embargo, empresas como SunPower tienen dispositivos comerciales que operan en el 22,5% de eficiencia.

Tal vez una de las áreas de mayor interés, en lo que se refiere a materiales aún más avanzados para paneles solares, son los llamados Perovskites, que están formados por dos materiales: un material orgánico con gran cantidad de cationes y otro ma-

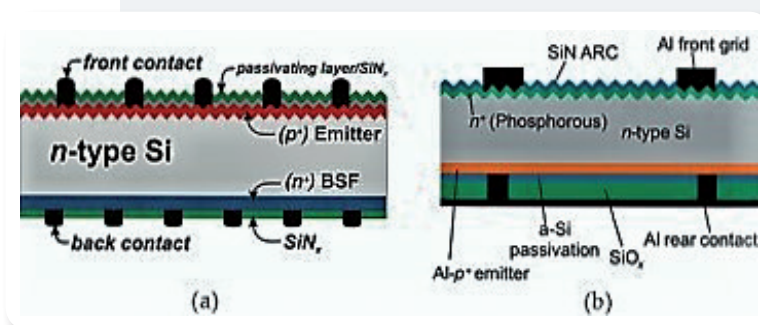


Diagrama de una celda solar tipo N con contactos en la parte frontal (a) y (b) con contactos en la parte de atrás. Cortesía de J Chen, Universidad Tecnológica de Xiamen, China | Diagram of a type N solar cell with contacts in the frontal part (a) and (b) with contacts in the rear part. Courtesy of J Chen, Technological University of Xiamen, China

such as phosphorous and arsenic (negatives, N), where most of their conductors are electrons. For some time now, the predominant technology has been substrates contaminated with boron impurities (positive, P) where the majority of conductors are holes.

What is the benefit of this change? There is a sudden increase in efficiency because the internal resistance of the panel is lower and less resistant to current, apart from which the type N substrates are thinner and therefore lighter. Neither do they suffer the initial degradation experienced by type P devices when sunlight illuminates them for the first time, an effect known as Light Induced Degradation or LID.

Another two beneficial effects of using type N devices, is that the life of the carriers is increased, as the majority of them are electrons and not holes as in the case of type P devices, meaning that it is in fact possible to obtain an improvement in the open-circuit voltage values and in the fill factor.

Perhaps most importantly is the fact that they are also using new architectures that result in more efficient panels. These include the PERC (Passivated Emitter Rear Cell) architecture which means that the emitter has been passivated with either silicon oxide or silicon nitrate which can suppress the superficial recombination of electrons and holes, enabling more current reaching the electrodes.

On the other hand the contacts in rear of the cell mean that more light is converted into electrons. In standard panels at least 3% of the active area is lost through the interconnection lines. Other architectures of interest are: HIT (Heterojunction with Thin Layer) from Panasonic; PERL (Passivated Emitter, Rear Locally Diffused), etc.

Panels with PERC architecture have achieved efficiencies as high as 25% under lab conditions. For panels manufactured in series this efficiency achieves some 21.5% for monocrystalline panels and 19.8% for polycrystalline panels, however, companies such as SunPower offer commercial devices that operate at 22.5% efficiency.

Perhaps one of the areas of greatest interest as regards even more advanced materials for solar panels are the so-called Perovskites. This are made up of by two materials: an organic material with a large quantity of cations and another metallic material with an abundance of anions, generally using halogens Cl, Br, I. This type of materials can be very economical and moreover has a large capacity to absorb sunlight. This makes them very attractive because

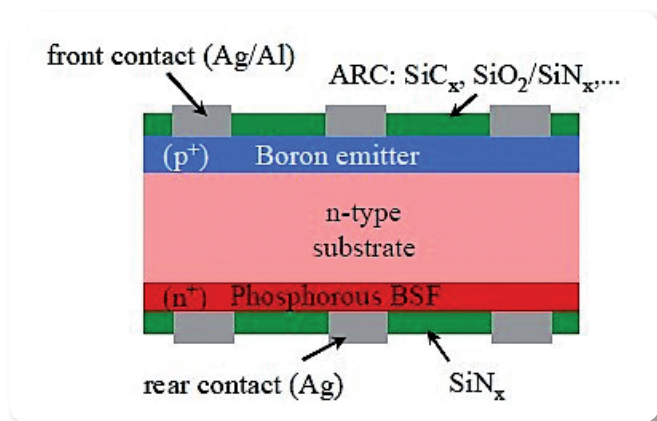
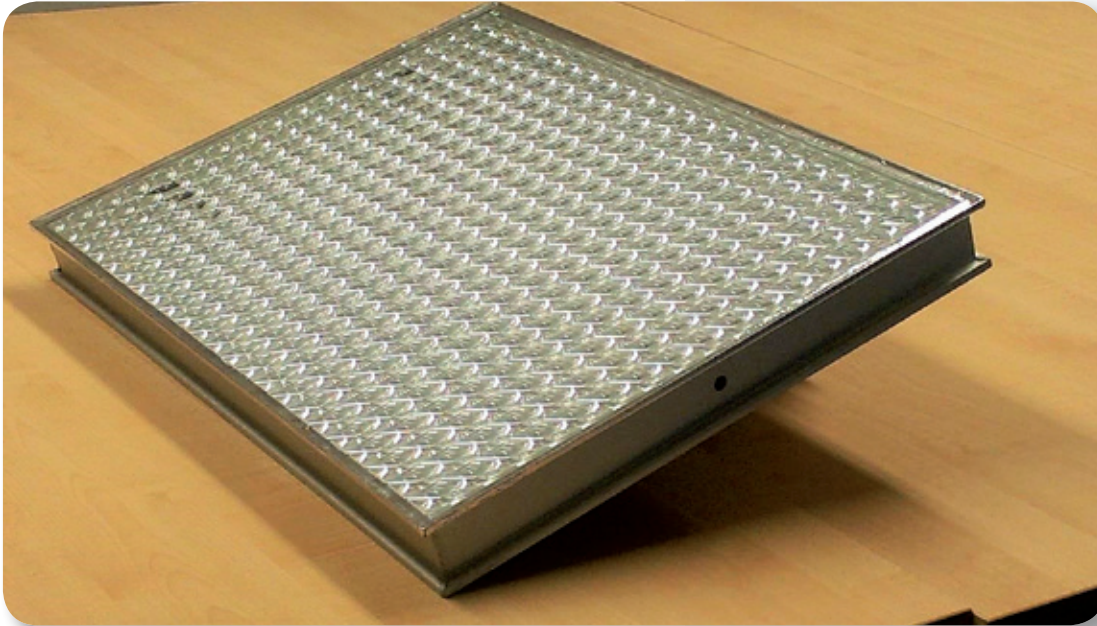


Diagrama de una celda solar tipo PERC (Passivated Emitter Rear Cell) cortesía de SoLayTec de Eindhoven, Holanda. | Diagram of a PERC (Passivated Emitter Rear Cell) type solar cell courtesy of SoLayTec from Eindhoven, the Netherlands.



they only require very thin layers (in the range of nanometres) in addition to using very simple manufacturing processes such as ink printing, the use of sprays and others. These materials can be positioned in different types of flexible and rigid substrates.

But the most attractive thing is that

Fotografía de un arreglo de células fotovoltaicas concentradas. Cortesía de Dr. Geoffrey Duggan CEO Fullsun Photovoltaics en Escocia. | Photo of an arrangement of CPV cells. Courtesy of Dr. Geoffrey Duggan, CEO of Fullsun Photovoltaics, Scotland.

terial metálico con abundancia de aniones, generalmente usando halógenos Cl, Br, I. Este tipo de materiales pueden ser muy económicos y además tienen una gran capacidad para absorber la luz solar, lo que los hace muy atractivos porque se requieren capas muy delgadas (en el rango de nanómetros), también se pueden usar formas de fabricación muy sencillas como depósito mediante impresión de tintas, uso de spray y otras. Estos materiales se pueden poner en diversos sustratos tanto flexibles como rígidos.

Pero lo más atractivo es que han tenido una evolución espectacular, de una eficiencia menor al 4% en 2009 al 20,1% de eficiencia en noviembre de 2014 y siguen mejorando. Tal vez puedan ser un producto comercial para 2018, ya que el grupo líder en esta tecnología, una spin-off de la Universidad de Oxford en Inglaterra, se ha asociado con productores de paneles solares para acelerar su entrada al mercado

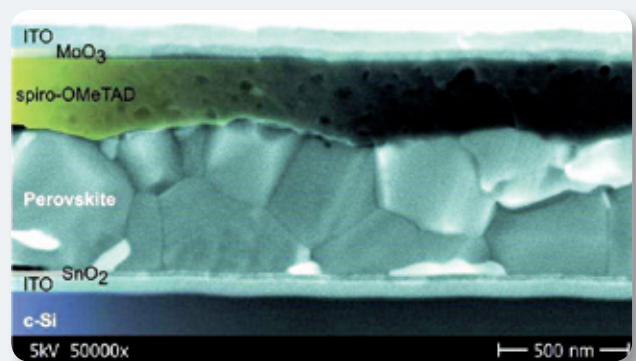
Terminamos este análisis de las tecnologías con los sistemas de concentración fotovoltaica (CPV, Concentrating Photovoltaics, en inglés) que son dispositivos que tienen un sistema óptico que permite que la luz solar se enfoque en un área activa muy pequeña, inferior a 1 mm² y que tienen eficiencias superiores al 35%.

Todos los pioneros de CPV han desaparecido por causas de bajo rendimiento y coste, pero existe una nueva generación que va usar técnicas de pick and place y óptica integrada que bajará los costes de fabricación, mejorará en rendimiento y los hará más robustos. MIT, la Universidad de Illinois, Caltech y otras universidades siguen trabajando en eso, lo mismo sucede con el laboratorio PARC (Palo Alto Research Center, antes llamado Xerox PARC), Semprius en Carolina del Norte y el Prof Geoffrey Duggan, que actualmente busca fondos para lanzar una empresa.

they have enjoyed a spectacular evolution, going from an efficiency of less than 4% in 2009 to 20.1% efficiency in November 2014, and they continue improving. They could become a commercial product by 2018, as the leading group in this technology, a spin-off from Oxford University in the UK, has been working with solar panel producers to accelerate their launch onto the market.

This technology analysis concludes with Concentrating Photovoltaic (CPV) systems, which are devices equipped with an optical system that allows sunlight to focus on a very small active area, less than 1 mm² and that offer efficiencies in excess of 35%.

Every CPV pioneer has disappeared because of low levels of performance and cost, however there is a new generation that is going to use pick and place techniques and integrated optics that will bring down manufacturing costs, improve performance and make them more resilient. MIT, the University of Illinois, Caltech and other universities continue to work on this technology, in addition to the PARC laboratory (Palo Alto Research Center, formerly the Xerox PARC), Semprius in North Carolina and Prof. Geoffrey Duggan who is currently seeking funding to set up a company.



Fotografía de la sección transversal de una celda solar usando arquitectura Perovskite. Cortesía de Prof. Bernd Rech and Dr. Lars Korte de Helmholtz-Zentrum Berlin en cooperación con el Prof. Michael Graetzel en la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) | Photo of the transversal section of a solar cell using Perovskite architecture Courtesy of Prof. Bernd Rech and Dr. Lars Korte from Helmholtz-Zentrum Berlin in collaboration with Prof. Michael Graetzel from the École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)



M en C Rogelio F. Nochebuena Tinoco
COO Servicios Ambientales de Baja California.
COO Environmental Services, Baja California.