

# La exigencia de calidad

La pérdida de eficiencia por degradación en módulos cristalinos produce grandes dolores de cabeza al sector

No sólo sufren degradación los módulos de capa delgada, sino también las células solares cristalinas. Es un hecho conocido. La medida en que se produce este desagradable efecto depende ante todo, en los productos monocristalinos, de la composición del silicio utilizado. Pero pocos fabricantes se atreven a decir lo que todos saben ya de sobra: se vende mucho silicio de baja calidad que pasa impune por los controles de calidad de los fabricantes de células y módulos.

Es un argumento de venta muy utilizado: los módulos monocristalinos son caros, pero ofrecen un alto rendimiento. Y al contrario que los módulos de capa delgada, mantienen su eficiencia estable durante muchos años, es decir, que se sabe lo que se compra. Pero esto es sólo una verdad a medias. Pues la gran mayoría de módulos cristalinos también están sujetos a una cierta degradación, lo que significa una pérdida de su eficiencia.

El material del lingote de silicio monocristalino, del cual se cortan las obleas para la producción de células, se obtiene en la mayoría de los casos a través del método Czochralski, utilizando el boro como material dopante. Esto permite la formación de compuestos de boro-oxígeno en el entramado de silicio (véase recuadro página 42). El fenómeno es conocido, y el efecto resultante ocurre siempre. La cuestión que se plantea es en qué medida afecta al resultado, sobre todo en células monocristalinas, donde la calidad del material base es mucho más importante que en las multicristalinas.

Roland Burkhardt, Presidente del Consejo de Sunways AG, ha detectado en los últimos cinco años una pérdida de calidad en el mercado de los lingo-



Las obleas son todas iguales, al menos por fuera. Pero su calidad puede mostrar grandes diferencias.

tes y las obleas. Sunways produce células y las convierte en módulos. En este proceso se depende mucho de los proveedores, es decir, de los fabricantes de lingotes y obleas, pues el grado de degradación sólo se puede controlar en la cadena de producción durante el crecimiento de los lingotes. Y aquí parece que falla algo. Burkhardt querría volver otra vez «a donde estábamos en el año 2003, cuando podíamos comprar obleas de alta calidad y donde como cliente no tenía que decidirme entre dos malas soluciones». Durante el boom de la fotovoltaica pocos productores pudieron mantener sus propios niveles de calidad.

«Sobre todo aquellos que también suministran al sector de los semiconductores», añade. En este sector se aplican unas normas muy estrictas, donde cada parámetro se define con precisión. Pero no en la fotovoltaica.

Por ello, a Sunways no le queda más remedio que comprobar todas las obleas y clasificarlas para su conversión en células. Pues podría darse el caso, según explica Burkhardt, de que en una entrega deba descartarse una de cada diez obleas. Antes de entregar los módulos, se realiza una comprobación de eficiencia y ésta se rebaja en algunos puntos porcentuales. «Corregimos los

valores de eficiencia a la baja, pues en definitiva no se corresponden con lo que podemos indicar sin tener en cuenta el efecto de degradación», puntualiza Burkhardt. La mayor degradación que ha podido detectar hasta ahora Sunways ha sido del 7 por ciento.

### La degradación se ignora o se desconoce

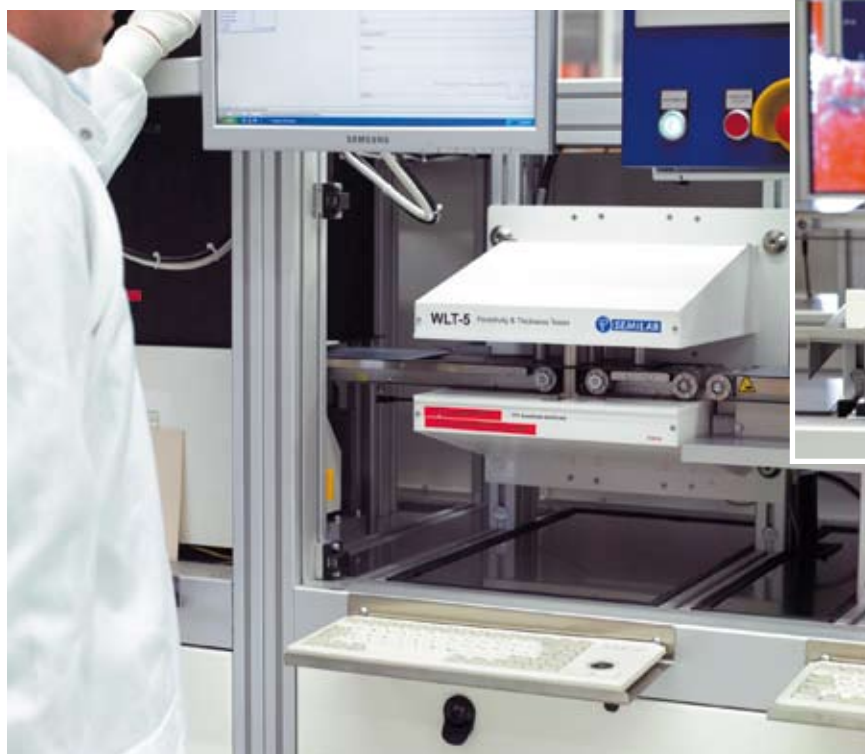
El instituto de investigación de energía solar Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln (ISFH), que se ocupa de este tema desde mediados de los 90, parte por lo general de una degradación de entre el tres y el siete por ciento en células de silicio de baja cali-

dad en todos los niveles del sector de la fotovoltaica; desde la obtención de silicio hasta la producción de células y módulos.

Para mantener la degradación reducida a un mínimo se ha aplicado hasta ahora un remedio: se utiliza silicio con una concentración de boro bastante pequeña, dado que las pérdidas en la eficiencia aumentan paralelamente en proporción a la cantidad de átomos de boro. Un material con una baja concentración de boro destaca por su alta resistividad, especificada en ohmios por centímetro. A partir de tres ohmios por centímetro la oblea se considera »de alta resisten-

lulas producidas con baja resistividad, se pierde luego por la degradación«.

Ersol se cuenta hoy en día, desde la absorción de la empresa ASI-Industries (hoy Ersol Wafers), entre las empresas de mayor éxito con su propia producción de lingotes y obleas. »Nuestro objetivo declarado fue controlar ambas etapas«, dice Ziering, »la elección del material de partida es de máxima importancia«. Quien, por el contrario, no pueda producir este deseado producto de primera calidad, debe buscarlo en el mercado, lo que resulta bastante difícil,



En Sunways se comprueba primero la calidad de las obleas: las buenas van directas a producción, las menos buenas se mejoran y las malas se desechan.

dad. Por lo contrario, en los productos de alta calidad la pérdida de la eficiencia se encuentra por debajo del dos por ciento. Si el productor no tiene en cuenta una desviación de la calidad antes de la entrega, lógicamente el rendimiento de la instalación descenderá con el tiempo por debajo del valor supuestamente esperado del módulo.

El cliente afectado irá perdiendo, a la fuerza, su confianza: tanto en el fabricante de los módulos como quizás también en todo el sector. Esta es la gran preocupación de Roland Burkhardt: »La calidad no tiene que sufrir, pues al final nos repercute a nosotros«. Debería haber una mayor conciencia de la

cia«. Hay dos motivos negativos por los que el sector no utiliza exclusivamente este material: en la elección del material de partida el fabricante de lingotes se ve muy limitado, pues mientras que en material de baja resistividad se puede añadir silicio de distintas calidades, para una especificación de alta resistividad hace falta un material básico bastante bueno. Por otro lado, las células solares fabricadas con material de alta resistividad muestran una eficiencia sólo ligeramente menor. »Menos boro significa renunciar en eficiencia«, dice Franz Ziering, responsable de »compra estratégica« de Ersol Solar Energy AG, y añade: »pero todo lo que se puede sacar de cé-

pues la oferta de productos de baja resistividad supera en mucho a la de alta resistividad. Cuando sólo se dispone de este material no queda más elección que reducir la eficiencia, como lo hace Sunways. Pero resultaría ingenuo considerar que todo el sector procede de igual manera: »seguimos muy de cerca lo que informan los clientes«, dice Ziering, pues »el tema afecta también a fabricantes alemanes«.

En los grandes sectores establecidos en Europa, Japón y los Estados Unidos, el efecto de degradación debería darse por conocido; por lo que su incumplimiento debería considerarse como bastante penoso. Sin embargo, parece que las empresas más jóvenes del sector no son conscientes de este peligro, sobre todo en China. »El sector de la fotovoltaica no sabe mucho sobre la degradación de las células monocristalinas«, dice Bond Wang, Director de Xi'an Longi Silicon Technologies Co. Ltd., un productor de

lingotes chino, procedente del sector de los semiconductores, que desde 2003 se está introduciendo también en el mercado de la fotovoltaica. En China hay muchas empresas de fotovoltaica con menos de dos años de existencia y con empleados que proceden de otros sectores. Este es el motivo de que se suministren productos sin los ensayos suficientes, simplemente porque se desconoce el problema de la degradación. El resultado es que en las especificaciones técnicas se hacen constar datos de eficiencia que al final no se pueden cumplir. «Hay tres causas para esta situación», dice Wang: «Una falta de conocimientos, una fuerte demanda que no permite ofensivas de calidad y el problema de la inexistencia de alternativas».

**Preguntas concretas, respuestas difusas**

Xi'an Longi trabaja en una solución. Con el «proceso magnético de Czochralski» (MCz) se puede evitar la entrada de oxígeno durante el crecimiento cristalino de silicio. Esta empresa de Xi'an, en la provincia de Shaanxi, es la única en China que trabaja actualmente en este tema, según propias declaraciones. Wang informa de «resultados convincentes en ensayos sobre la reducción del efecto de degradación». El método MCz es «una buena garantía para el funcionamiento a largo plazo de células y módulos». Sin embargo, la maquinaria de producción es más cara y el



Montaje de los lingotes en la sierra (Ersol Wafers): aquí se puede distinguir entre material de alta y de baja resistividad. El silicio de alta resistividad es más duro.

consumo energético mayor, por lo que el producto final se encarece en comparación con la competencia, cuando el producto contiene más oxígeno.

A pesar de ello, varios productores de células de cierto renombre han solicitado obleas de Xi'an Longi, entre ellas Q-Cells, Motech y Suntech Power. Este rey entre los fabricantes chinos pertenece sin duda a aquellos que han sabido reconocer el problema. En la conferencia sobre fotovoltaica en la ciudad japonesa

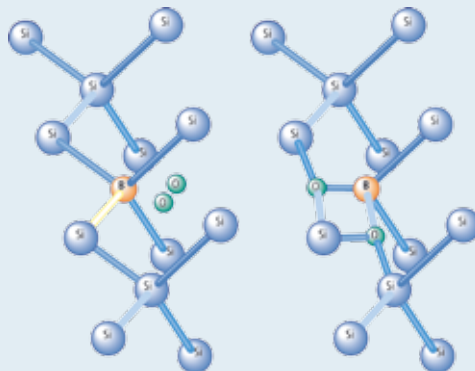
de Fukuoka el pasado diciembre, Zhen-grong Shi, Director de Suntech, habló de defectos que se extienden: «El silicio reciclado provoca problemas de calidad en obleas, células y módulos, como la degradación de la eficiencia tras el proceso de laminado, la rotura y el deslaminado». A la pregunta de PHOTON sobre cómo trata Suntech el efecto de degradación, no hubo una respuesta clara. Sólo se menciona que Suntech colabora con socios del sector y universidades en la

Robert Michalek / photos pictures.com

**El compuesto boro-oxígeno y la degradación que provoca**

El responsable principal de la degradación en módulos monocristalinos es el elemento oxígeno. En la fabricación de lingotes a través del método Czochralski el oxígeno se difunde en el silicio y se deposita en pequeñas cantidades en la estructura cristalina del elemento semiconductor. Siempre hay dos átomos de oxígeno que, en forma de dímeros, difunden en la red, pero sin dañarla. Es en el momento en que el oxígeno forma un compuesto con el boro incorporado en la estructura semiconductor como material dopante, cuando se produce el efecto de degradación.

El desencadenante de todo el proceso es la luz que arranca el efecto fotoeléctrico. En cuanto un hueco del átomo de boro se recombina con un electrón, se libera energía que acelera el movimiento del dímero de oxígeno en la estructura cristalina, ya que el dímero tiene una doble carga positiva. Sin embargo el boro, después de la recombinación, tiene una carga negativa, por eso ambos elementos se atraen en cuanto el oxígeno entra



en el área de influencia del boro. El compuesto de boro-oxígeno forma un nivel energético propio dentro de la red cristalina de silicio y puede captar electrones y huecos, que de este modo se pierden para la producción de electricidad. Como consecuencia disminuye la eficiencia y, con ello, el rendimiento del módulo en cuestión. El instituto de investigación de energía solar de Hamelín, que se ocupa de este tema desde hace más de diez años, habla de una

Mientras el átomo de boro disponga de su hueco de electrones, el dímero de oxígeno no se fija en él (imagen izq.). La reacción fotoeléctrica, en la que el boro pierde su hueco y se convierte en un ion de carga negativa, atrae al oxígeno y crea el compuesto de boro-oxígeno (imagen dcha.) responsable de la degradación del módulo.

pérdida de eficiencia de aproximadamente entre un tres y un diez por ciento, en función del tipo de célula. En las células con una eficiencia alta, la degradación se acerca más al diez por ciento, y en las células estándar, está entre el tres y el siete por ciento.

La intensidad de la degradación depende linealmente de la concentración del boro dentro de la red de silicio y aumenta exponencialmente con la concentración del oxígeno. Dependiendo de la calidad del silicio, la degradación se detiene en un determinado punto y al cabo de un determinado periodo de tiempo. En material de baja resistividad se alcanza la saturación exponencial tras unas diez horas, en material de alta resistividad se tarda entre uno y dos días. iru

producción de módulos de alta eficiencia, y que tanto el material de partida como la tecnología son de gran importancia. La misma pregunta planteada a Trina Solar Energy Co. nos dio una respuesta muy general: «no vemos más alternativa que utilizar material de alta calidad», nos dice la empresa, dedicada exclusivamente a la producción de células multicristalinas.

No es de extrañar, que Shi, Director de Suntech, en su ponencia en Japón culpara de las pérdidas de calidad al reciclado de obleas, células y módulos. En Asia se han creado empresas que compran tanto recortes de bordes y restos de crisol de la producción de lingotes como obleas rotas, con o sin dopaje, de alta o baja resistividad, para procesarlos en parte ellas mismas. Reciclar en sí es bueno, pues «las células de alta calidad se pueden reciclar para obtener células también de alta calidad», dice Karsten Wambach, Director del departamento de «Material Solar» en Deutsche Solar AG, la filial alemana de Solarworld. «Lo importante es analizar con precisión la mercancía que nos llega, mantener un control de calidad limpio y un perfecto dominio del proceso», añade Wambach. «El reciclado tiene su justificación», comenta también Franz Ziering, «se puede producir un material aceptable». Pero a veces se echa en la batidora prácticamente todo lo que se puede: «La necesidad es fuente de ingenio».

### Fósforo en lugar de boro, y viceversa

Si existieran normas uniformes los resultados se podrían controlar mucho mejor, tanto en material reciclado como en el producido de la forma convencional. El Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) quiere publicar este verano un documento llamado «Hoja técnica e información de producto para obleas solares de silicio cristalino destinadas a la producción de células fotovoltaicas». Esta norma, basada en los requisitos del sector de los semiconductores, contendrá también información sobre la pureza del silicio utilizado en las obleas. «La intención es ayudar al sector a unificar sus métodos de ensayo y lograr una mayor transparencia en esta industria», comenta el científico Daniel Fraile, que colabora en la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA), una organización que se muestra partidaria de estas normas uniformes. Hoy en día nadie



La nave de producción de Xi'an Longi en la provincia china de Shandong: mediante el «método magnético de Czochralski», la empresa obtiene obleas con un contenido muy bajo de oxígeno.

puede decir cuánto tiempo tardarán en imponerse estas prescripciones, ni si el sector a nivel mundial querrá realmente que existan.

El cambio de mentalidad debería ser general, desde los productores de lingotes hasta los productores de módulos. Estos últimos deben cimentar su credibilidad frente a los clientes, y los primeros deberían dedicarse a reducir el efecto de degradación, pues es posible: «Sabemos cómo podemos evitarlo», dice Jan Schmidt, científico en el instituto solar ISFH, en la ciudad alemana de Hamelín. Pero, al parecer, tiene «una influencia muy limitada en el sector». El motivo de este poco interés lo ve Schmidt en el mercado de la fotovoltaica, dominado por la demanda: «Los fabricantes venden su silicio sin tener que esforzarse mucho. No hay necesidad alguna de cambiar procesos. Ni tampoco pueden hacerlo, pues las máquinas no paran ni un minuto de producir».

Para los fabricantes de lingotes existen dos posibilidades: pueden evitar que se acumule oxígeno en el silicio durante el proceso de crecimiento, o pueden utilizar otro elemento como dopante en lugar del boro, por ejemplo el galio o el indio. La primera posibilidad requiere una fuerte inversión previa antes de aplicar el método MCz. La segunda variante no costaría tanto y eliminaría del todo este efecto, aunque su puesta en práctica no es tan simple: con galio o indio, la resistividad específica del cris-

tal varía tanto, que el uso de ambas sustancias resulta a fin de cuentas bastante más complicado que el uso del boro.

Como solución inmediata, Schmidt propone la sustitución recíproca de los dos elementos dopantes conocidos. En la producción de lingotes se utilizaría fósforo en lugar de boro, cuyo resultado es la obtención de obleas con dopado negativo en lugar de positivo. En la posterior producción de células debería añadirse boro en lugar del fósforo comúnmente aplicado. El efecto de degradación quedaría totalmente eliminado. «Desde el punto de vista técnico de costes sería idéntico al proceso convencional, pero los fabricantes de células deberían cambiar la estructura de sus células y, en consecuencia, todo su ciclo de producción», comenta Schmidt.

Pero el esfuerzo sería recompensado con creces al dominarse el problema de la degradación. Los ensayos realizados en el ISFH muestran que, de esta forma, se podrían obtener células de alto rendimiento con una eficiencia del 19 por ciento o quizás incluso más. Y no sólo Roland Burkhardt de Sunways agradecería cualquier iniciativa que ayudara a aumentar el nivel de calidad. Pero ante todo apuesta por el principio de la competitividad que algún día volverá a regir: en cuanto haya más silicio en el mercado «los criterios de calidad volverán a tener importancia». Aunque para ello sea necesario esperar unos años.

Ines Rutschmann