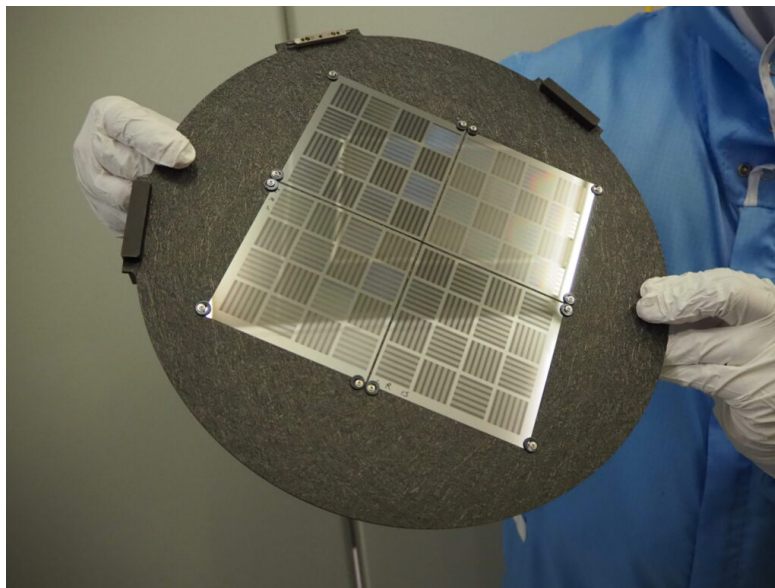


El silicio nanoestructurado podría llevar a las células solares más allá del límite de Shockley–Queisser

- El proyecto LEEMONS investiga el uso de silicio nanoestructurado que emplea la multiplicación de electrones de baja energía (LEEM, por sus siglas en inglés) para permitir que un solo fotón de alta energía genere múltiples electrones, reduciendo así las pérdidas energéticas en las células solares.



<https://www.pv-magazine.es/2026/03/18/el-silicio-nanoestructurado-podria-llevar-a-las-celulas-solares-mas-alla...>

Miércoles, 18 marzo 2026

El proyecto LEEMONS investiga el uso de silicio nanoestructurado que emplea la multiplicación de electrones de baja energía (LEEM, por sus siglas en inglés) para permitir que un solo fotón de alta energía genere múltiples electrones, reduciendo así las pérdidas energéticas en las células solares.

Emiliano Bellini

Un consorcio europeo de investigación está explorando un nuevo enfoque basado en silicio nanoestructurado que podría ayudar a las células solares de silicio cristalino a superar sus limitaciones de eficiencia. La iniciativa, denominada *Low-Energy Electron Multiplication on Nanostructured Solar Cells* (LEEMONS), se centra en explotar un mecanismo conocido como multiplicación de electrones de baja energía (LEEM), que permite que un único fotón de alta energía genere múltiples electrones de baja energía, reduciendo las pérdidas que normalmente se disipan en forma de calor.

El LEEM es un tipo de multiplicación de portadores (CM), un proceso muy prometedor que, si se aplica con éxito, podría aumentar de forma significativa la eficiencia de los dispositivos fotovoltaicos. Este fenómeno se produce cuando la absorción de un único fotón provoca la excitación de varios electrones. En las células solares convencionales, un fotón solo puede excitar un electrón a través de la banda prohibida, lo que hace que el exceso de energía se pierda en forma de calor.

Nanoestructuración del silicio

Se considera que la multiplicación de portadores podría permitir a la fotovoltaica acercarse —e incluso superar— el límite de Shockley–Queisser, que define la eficiencia máxima teórica de una célula solar de una sola unión p-n. Sin embargo, hasta ahora su aplicación se ha limitado principalmente a estudios experimentales. A diferencia de la CM clásica, el LEEM permite la multiplicación de portadores a energías más bajas, reduciendo las pérdidas por termalización. Además, este enfoque modifica directamente la respuesta del silicio, sin necesidad de añadir otros semiconductores, como ocurre en las células tándem basadas en perovskitas u otros materiales.

Para sus experimentos, los investigadores emplean técnicas de implantación iónica controlada para nanoestructurar el silicio. Este proceso genera regiones ultrafinas de silicio amorfo incrustadas dentro de una matriz de silicio cristalino. En estas zonas nanoestructuradas, los portadores de alta energía tienen mayor probabilidad de generar pares electrón-hueco adicionales mediante ionización por impacto antes de perder su energía en forma de calor.

Según explicó a **pv magazine** el coordinador del proyecto, Brice Rouffie, durante la implantación se introducen iones energéticos en la red cristalina del silicio, creando regiones amorfas localizadas a profundidades controladas. Posteriormente, un proceso de recocido térmico permite una recristalización parcial del material, manteniendo capas amorfas ultrafinas enterradas dentro de la matriz cristalina. Estas capas, de escala nanométrica, pueden posicionarse con gran precisión.

El uso de microscopía electrónica de transmisión ha permitido confirmar que estas estructuras son adecuadas para los primeros ensayos en células solares. Para definir con precisión las zonas de implantación, se emplean máscaras duras, incluyendo máscaras de silicio ultrafinas y mallas metálicas con aperturas micrométricas, evitando el uso de fotorresinas que podrían contaminar la superficie.

Desafíos de fabricación

La integración de estas nanoestructuras en dispositivos reales plantea retos en varias etapas del proceso industrial. Uno de los principales es la metalización, ya que los procesos convencionales superan los 400 °C, lo que podría alterar las estructuras implantadas. Para solucionarlo, se están explorando técnicas de metalización a baja temperatura, como la deposición de contactos de plata mediante pulverización catódica por magnetrón por debajo de 100 °C.

Asimismo, la pasivación es otro aspecto clave, con investigaciones centradas en preservar la vida media de los portadores mediante capas dieléctricas adecuadas. Aunque el proyecto aún no ha alcanzado la fase de prototipos completos, los primeros resultados indican que las capas amorfas pueden mantenerse estables bajo ciertas condiciones de fabricación, lo que sugiere una posible compatibilidad con procesos industriales.

En paralelo, se están llevando a cabo estudios para evaluar el impacto de estas nanoestructuras en la vida útil de los portadores. Tras una primera campaña experimental sin los resultados esperados, se ha iniciado una nueva fase de optimización para ajustar los parámetros de implantación y recocido.

Potencial de eficiencia

El límite de Shockley–Queisser se basa en la premisa de que cada fotón absorbido genera como máximo un par electrón-hueco. La multiplicación de portadores rompe esta limitación, permitiendo que un único fotón genere múltiples cargas.

En teoría, esto podría elevar la eficiencia máxima de las células solares muy por encima de los valores actuales, con estimaciones que alcanzan hasta el 44,7% bajo iluminación estándar y hasta el 85,9% bajo concentración. En comparación, las células convencionales se sitúan en torno al 33–34% sin estos mecanismos.

El LEEM podría superar otros procesos similares gracias a su menor umbral energético, permitiendo aprovechar una mayor fracción del espectro solar y reduciendo las pérdidas térmicas. Esto no solo incrementaría la eficiencia, sino que también podría reducir la temperatura de operación de los dispositivos.

De cara al futuro, el consorcio prevé desarrollar prototipos basados en arquitecturas comerciales como PERC y heterounión (HJT). Aunque el objetivo actual no es alcanzar una eficiencia comercial específica, los investigadores consideran plausible que, si se valida el efecto LEEM, las células de silicio de una sola unión puedan alcanzar eficiencias del 30–35%.

El proyecto LEEMONS, financiado por el programa Horizon Europe, se desarrollará entre noviembre de 2024 y octubre de 2027, con la participación de seis entidades europeas: Segton Advanced Technology, CEA-Leti, ISC Konstanz, CSEM, Roltec y University of Franche-Comté.

Este contenido está protegido por derechos de autor y no se puede reutilizar. Si desea cooperar con nosotros y desea reutilizar parte de nuestro contenido, contacte: editors@pv-magazine.com.

Popular content