

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 030**

51 Int. Cl.:

H01L 31/054 (2014.01)

H01L 31/0392 (2006.01)

H01L 31/032 (2006.01)

H01L 31/0224 (2006.01)

H01L 31/043 (2014.01)

H01L 51/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.01.2015** E 15151297 (7)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020** EP 2897180

54 Título: **Dispositivo fotovoltaico con un conjunto de fibras para seguimiento del sol**

30 Prioridad:

16.01.2014 US 201414157138

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

16.02.2021

73 Titular/es:

**FUNDACIÓ INSTITUT DE CIÈNCIES FOTÒNIQUES
(50.0%)**

**Parque Mediterráneo de la Tecnología, Av. Carl
Friedrich Gauss 3**

**08860 Castelldefels (Barcelona), ES y
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**MARTORELL PENA, JORDI;
ROMERO GOMEZ, PABLO;
MARIANO JUSTE, MARINA y
RODRIGUEZ MARTINEZ, FRANCISCO J.**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 806 030 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo fotovoltaico con un conjunto de fibras para seguimiento del sol

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a células fotovoltaicas fijas, células que no están provistas de medios mecánicos para seguir el movimiento del sol. Más en particular, la invención es una célula fotovoltaica provista de medios que mejoran en gran medida el rendimiento con la inclinación del sol, es decir, una configuración de dispositivo que puede imitar el seguimiento del sol. La invención también se refiere a un procedimiento de fabricación de dicha célula.

Descripción de la técnica relacionada

10 En una instalación fotovoltaica (PV) fija, la falta de medios de seguimiento del sol conduce a una cosecha de energía bastante ineficiente. De hecho, un sistema de doble eje para seguir el sol para una instalación fotovoltaica situada cerca del paralelo 40 permitiría un aumento del 38% de la capacidad de cosecha de energía. La cosecha de energía ineficiente también es inherente a las instalaciones fotovoltaicas verticales. Por ejemplo, en el curso de un año, una instalación fotovoltaica vertical en la fachada de un edificio situado también en el paralelo 40 perdería cerca del 33% de la energía luminosa disponible del sol. Sin embargo, por varias razones prácticas, ni los sistemas mecánicos de
15 seguimiento del sol ni las instalaciones fotovoltaicas no verticales integradas en edificios pueden considerarse como soluciones óptimas. Recientemente, se ha propuesto una configuración que proporciona múltiples reflejos para los rayos de luz (Trampa geométrica de luz con una trampa en V para células solares orgánicas eficientes, Soo Jin Kim at. Al, Optical Society of America 2013). Esta configuración en forma de V del panel supuestamente aumenta el rendimiento hasta un 35%. Esta configuración, sin embargo, todavía no mejora significativamente la captación de luz lejos de la incidencia normal, y resulta en una estructura que puede ser cara y compleja de producir a nivel industrial.

20 El documento US4140142 describe un generador fotoeléctrico semiconductor para convertir la energía de radiación en energía eléctrica, por medio de un conjunto de convertidores fotoeléctricos hechos de un material semiconductor. Cada convertidor fotoeléctrico está dopado para formar una unión P-N y una unión isotipo. Una superficie operativa del generador fotoeléctrico semiconductor está fijada mediante una capa adhesiva translúcida, a un recubrimiento
25 compuesto de concentradores ópticos expuesto directamente a la radiación. El recubrimiento enfoca la energía de radiación en un punto focal de modo que la banda de absorción de la radiación enfocada en el punto focal se ubique en la región base y separada de la unión P-N.

30 El documento US2012/234373 describe un dispositivo fotovoltaico que incluye una región de reflexión configurado para dirigir la luz múltiples veces en un material fotoeléctrico. En el material fotovoltaico se produce una separación de cargas cuando la luz es reflejada en un reflector delgado y parte del campo eléctrico de la luz penetra el reflector en el material fotoeléctrico. La separación de cargas se utiliza normalmente para proporcionar una corriente eléctrica a una carga.

35 El documento US5575860 describe un sistema generador de energía solar de fibra óptica que proporciona una torre fuera de una estructura para ser suministrada con energía solar y en la que se proporciona una multiplicidad de colectores. Un tronco de fibra óptica lleva la energía óptica recolectada a la estructura, en la que puede estar provista una pila fotovoltaica y/o de transducción de luz/calor y a la que se distribuye la luz desde el tronco de fibra óptica de modo que los transductores no necesitan ocupar grandes espacios de la propiedad.

40 El documento US2011/297229 describe una lámina óptica que incluye una capa de guía de luz que tiene al menos una guía de luz y una capa concentradora de la luz adyacente a la capa de guía de luz para la concentración de la luz incidente. La capa concentradora de la luz incluye múltiples elementos concentradores acoplados ópticamente a los elementos de acoplamiento de entrada de la guía de luz. Cada guía de luz tiene un espesor uniforme con respecto a una dirección de propagación de la luz a través de la guía de luz y combina la luz concentrada de los elementos concentradores para guiar la luz combinada a al menos un elemento de acoplamiento de salida de la guía de luz.

45 El documento DE202009002331 describe un dispositivo que comprende un elemento de transmisión óptica con una porción en espiral o doblada helicoidalmente a partir de la cual la luz transmitida se desacopla y acopla en un elemento sensor fotoeléctrico para convertir la luz en una señal eléctrica. La luz se distribuye sobre células fotovoltaicas en lugar de concentrarse en una pequeña ubicación de acoplamiento.

Sumario de la invención

50 La invención proporciona un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una célula solar, sobre un sustrato transmisor de luz en forma de un conjunto de fibras ópticas de igual diámetro colocadas una al lado de la otra en la dirección transversal de las fibras y en la cara destinada a mirar al sol. Con tal disposición, la captación de luz en ángulos altos se mejora en un 30%. En una realización particular, la célula comprende una capa activa con un espesor entre 10 nm y 2 μ m encerrada entre una primera capa de contacto eléctrico transmisor de luz en la cara destinada a mirar al sol y una segunda capa de contacto eléctrico, estando el conjunto en la parte superior
55 de la célula. Otras realizaciones serán evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

Para completar la descripción y para proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos ilustran una realización preferente de la invención, que no debe interpretarse como una restricción del ámbito de la invención, sino sólo como un ejemplo de cómo puede ser realizada la invención.

5 La figura 1 muestra una configuración general de la invención.

La figura 2 muestra un detalle de la configuración anterior.

Las figuras 3a y 3b muestran una comparación de las eficiencias cuánticas externas de una célula según la invención y de una célula planar cuando el ángulo de incidencia de la luz se fija en 0 grados.

10 Las figuras 3c y 3d muestran una comparación de las eficiencias cuánticas externas de una célula según la invención y de una planar cuando el ángulo de incidencia de la luz se establece en 55 grados.

Las figuras 4a y 4b muestran la corriente y la potencia eléctrica normalizadas para la invención y una célula planar para diferentes ángulos de incidencia de la luz.

La figura 5 muestra la corriente normalizada a 55 grados de incidencia para diferentes diámetros de fibra

Descripción detallada de la invención

15 En la presente invención, se utiliza una configuración de acoplamiento de galerías susurrantes (WG) basada en la implementación de una célula fotovoltaica de película fina en la parte posterior de un conjunto de fibras paralelas (por parte posterior se entiende el lado que va a estar más alejado de los rayos de luz entrantes). En tal conjunto, la luz puede ser acoplada en modos de resonancia WG de factor de baja calidad de las fibras. Tal acoplamiento se hace más efectivo a medida que el ángulo para la luz incidente en relación con la normal del conjunto de fibras aumenta hasta 55 grados. En cualquier caso, como mostraremos a continuación, la absorción de luz en la capa activa de la célula es en todos los ángulos mayor para la configuración del conjunto de fibras cuando se compara con la configuración planar estándar. Además, la dependencia angular específica de la absorción de luz en la configuración de la invención proporciona una solución óptima para imitar los sistemas de seguimiento del sol o para mejorar la captación de luz para los paneles colocados verticalmente.

25 En la Figura 1 se puede ver una vista esquemática del dispositivo fotovoltaico propuesto. El dispositivo consiste en un número de fibras pegadas entre sí formando un conjunto de fibras paralelas 4 que sirven de soporte a un dispositivo de célula solar de película fina. Las diferentes capas de la arquitectura de la célula se depositan en la parte posterior del conjunto en relación con la luz solar entrante que incide en la parte frontal del conjunto con un ángulo θ . En la figura 2 se muestra, ampliada, una sección transversal detallada de una fibra de una sola célula del conjunto. Las fibras pueden ser de cualquier material transparente o semitransparente como vidrio, cristal, semiconductor transparente o plástico. Ejemplos de estos materiales son la sílice (SiO₂), el zafiro, el borosilicato (BK7) y el PET.

35 Para asegurar un buen contacto eléctrico de las diferentes capas fotovoltaicas depositadas en las fibras, las fibras adyacentes deben estar en buen contacto físico en sentido transversal. Un procedimiento de fabricación para el conjunto de fibras puede ser el siguiente: Se colocan varias fibras de vidrio una contra otra y se sujetan en ambos extremos de la dirección longitudinal de las fibras. Tal conjunto de fibras se calienta, usando una llama, un radiador de calor o similar, hasta la temperatura de fusión del material de la fibra, de modo que las fibras adyacentes se fusionen entre sí. Simultáneamente, mientras se calienta el conjunto de fibras, dicho conjunto de fibras se extrae de las abrazaderas para reducir el diámetro de las fibras al diámetro óptimo de 0,5 - 500 μ m. El número total de fibras a utilizar se determina por el diámetro inicial de la fibra, el tamaño deseado para el módulo solar y el total de la tracción aplicada. Por ejemplo, bajo el supuesto de que las fibras utilizadas son fibras de 80 μ m, se puede aplicar la tracción para reducir el diámetro de las fibras 40 veces para obtener fibras de 2 μ m. Como ejemplo, en el caso de que el tamaño del módulo solar deseado fuera de 1cmx1cm se debería utilizar un total de 500 fibras.

45 En una realización, la parte posterior de este sustrato está recubierta con tres capas, que comprenden: un electrodo transparente 3 de una capa transparente de óxido conductor del grupo de ITO, ZnO, Al:ZnO, SnO₂, FTO, o polímeros conductores como PEDOT, PEDOT:PSS, PEDOT-TMA o un nanotubo de carbono, o una capa de grafeno de un grosor entre 0.3 nm y 350 nm; una capa activa 2 hecha de una heterounión que comprende un material donante de electrones y un material aceptor de electrones, y una capa metálica 1 de contacto que comprende Ag, Al, Au, Cu, una combinación de ellos, o cualquier otro metal buen conductor eléctrico.

50 En ciertas realizaciones, la interfaz entre el primer electrodo transparente 3 y la capa activa 2 puede llenarse con una fina capa de un material transportador de carga (ZnO, PFN, o TiO₂, MoO₃, PEDOT:PSS, WO₃, NiO) con un espesor entre 1 nm y 150 nm, mientras que el espacio que separa la capa activa 2 del contacto metálico 1 puede llenarse con una fina capa del material transportador de carga opuesta (ZnO, PFN, o TiO₂, MoO₃, PEDOT: PSS, WO₃, NiO), con un espesor entre 1 nm y 150 nm.

En una realización, la capa activa comprende un material activo orgánico que forma una mezcla que contiene una mezcla de dos componentes: un polímero semiconductor conjugado y un compuesto de fullereno. El primer componente es un polímero conjugado con monómeros alternantes electrón-donante y electrón-aceptor. El donante es siempre un derivado de benzo[1,2-b:4,5-b']ditiófeno, mientras que como aceptor se pueden utilizar muchos tipos diferentes de compuestos, por ejemplo, aunque no exclusivamente, derivados de tiofeno, benzotiadiazol o diquetopirrol. Alternativamente, el primer componente es un polímero α -PTPTBT, en el que la unidad donante de electrones es un tiofeno-fenileno-tiofeno (TPT) y la unidad aceptora es 2,1,3-benzotiadiazol (BT). Alternativamente, el primer componente es un polímero de polietileno (P3HT). El segundo componente de la mezcla es el C₆₀ o un derivado soluble de la familia de compuestos del fullereno. El grosor de toda la capa de material activo está entre 40 nm y 500 nm.

En otra realización, la capa activa comprende una heterounión o heterounión en masa formada por pequeñas moléculas donantes (SubPc, DTDCCTB, SubNc, ZnPc) y pequeñas moléculas receptoras (C₆₀, C₇₀) que pueden depositarse por evaporación en alto vacío.

En otra realización, la capa activa comprende una heterounión de fina película de n y p semiconductores inorgánicos como a-Si, CIGS, CdTe, Kesteritas, DSSC, perovskitas.

Alternativamente, la capa activa puede comprender una pila de dos o más materiales activos que forman una configuración de células en tándem. La separación entre las capas activas en la pila puede comprender una capa intermedia para recombinar los agujeros y los electrones cuando las capas activas están en una configuración en serie o un contacto eléctrico intermedio cuando las capas activas están en una configuración en paralelo o un dieléctrico transparente cuando las células están conectadas externamente.

En una realización particular, el diámetro de la fibra de sílice fusionada se fijó en 1,5 μ m, mientras que los espesores de la primera capa de contacto transparente (ITO en este caso), la capa activa de P3HT:ICBA y la capa de contacto eléctrico de Al se fijaron cada una de ellas en 100 nm, lo que corresponde a los parámetros aproximados para un rendimiento optimizado para una célula planar equivalente. En esta realización, el grosor de las capas de bloqueo de carga se consideró insignificante. Los índices de refracción de todos los materiales se tomaron de mediciones experimentales, excepto el de la sílice fundida, que se tomó de la literatura. Las polarizaciones dentro del plano (TM) y fuera del plano (TE) se calcularon por separado con una potencia de excitación correspondiente a un sol. Para la comparación, también se estudió una célula planar orgánica y se aplicaron las mismas condiciones. En este último caso, la luz incidente provenía de un sustrato de vidrio de sílice fundido y la potencia de la luz incidente se corrigió mediante el correspondiente coeficiente de Fresnel para la refracción vidrio-aire. La convolución del coeficiente de extinción P3HT:ICBA con el flujo de fotones del sol deja una ventana de longitudes de onda para la operación fotovoltaica que varía de 300nm a 750nm. En cada longitud de onda, la disipación total de energía sobre el área de la capa activa se integra para extraer la absorción de fotones en esta capa o, de manera equivalente, la Eficiencia Cuántica Externa (ECE). La ECE debe entenderse como el porcentaje de cargas recogidas en relación con el número de fotones incidentes en una longitud de onda determinada. En las figuras 3a y 3b se muestran las ECE a incidencia normal (0 grados) para la invención y las células planares en las polarizaciones TE y TM, respectivamente. A 0 grados el rendimiento de la invención es ligeramente mejor que el de un dispositivo planar, pero cuando la luz incide a 55 grados la mejora es notable. La ECE de la invención, que se muestra para las polarizaciones TE y TM en las Figuras 3c y 3d, respectivamente, mejora en gran medida en casi todo el rango de longitudes de onda. Para estimar la densidad de corriente de cortocircuito (J_{sc}) en comparación con la eficiencia de la célula fotovoltaica orgánica planar estándar, se da la J_{sc} obtenida en función del ángulo de incidencia (Figura 4a). Esta J_{sc} se calculó integrando la ECE multiplicada por el flujo de fotones solares y la carga de electrones q sobre todas las longitudes de onda λ , como en la ecuación

$$J_{sc} = \int ECE(\lambda) I(\lambda) \lambda / hc q d\lambda$$

donde $I(\lambda)$ indica la irradiación espectral estándar AM1.5G del Sol. En una incidencia normal, la J_{sc} de la invención es un 6% mayor que la de la célula planar. Cuando el ángulo de incidencia aumenta, la J_{sc} de la célula planar se mantiene casi constante hasta 40 grados, mientras que para la invención aumenta con el ángulo a medida que la luz se acopla más eficazmente en el modo WG. La J_{sc} exhibe un máximo a 55 grados siendo un 30% mayor que la planar. En ángulos mayores, como se esperaba, la J_{sc} decae rápidamente, pero para la invención permanece siempre mayor. A medida que el ángulo aumenta, la energía eléctrica generada para ambas células disminuiría por un factor cos (ángulo de incidencia) que representa el área proyectada en una superficie normal a la dirección de la luz incidente. Como se muestra en la figura 4b, esta reducción de la energía eléctrica puede ser parcialmente compensada por la invención debido a una generación de fotocorriente que se maximiza a 55 grados en lugar de a la incidencia normal. Para una célula solar colocada perpendicularmente al sol al mediodía, la energía recogida desde el amanecer hasta el atardecer es proporcional al doble del área bajo las curvas mostradas en la Figura 4b. Esta área es 17% mayor para la invención que para el caso planar. Como también se muestra en la Figura 4b, la energía recogida por la invención de 0 a 52 grados será equivalente a la energía recogida por una célula planar mantenida, en todo momento, perpendicular al sol en ese rango angular.

El número de fotones absorbidos por unidad de superficie por la invención aumenta a medida que la inclinación del sol en relación con la normal a la célula aumenta de 0 a 55 grados. Obsérvese que cuando la recolección de luz tiene

5 lugar, por ejemplo, cerca del paralelo 40, la orientación óptima para cualquier tipo de instalación fotovoltaica fija sería aproximadamente 35 grados por encima de la línea horizontal. Esto corresponde a que el sol está a 55 grados sobre el horizonte. Con un ángulo tan grande, la ECE de la invención alcanzaría su máximo valor posible para una amplia gama de longitudes de onda. La invención asegura una captación óptima de luz para una instalación vertical en el caso de que las fibras del conjunto estuvieran orientadas en dirección paralela. Por otra parte, en el caso de que el conjunto se orientara en la dirección de los meridianos, el aumento angular de la eficiencia de la conversión de energía proporcionaría, en el curso de un día, una capacidad de recolección de energía similar a la que se obtiene de un sistema de seguimiento de un eje.

10 Con una incidencia de 55 grados estudiamos la dependencia de la J_{sc} con el diámetro de la fibra (Fig. 5), manteniendo fijos los demás parámetros geométricos. A diámetros inferiores a 400 nm, cuando el confinamiento de la luz en el perímetro de la fibra cerca del contacto metálico posterior es ineficaz, la J_{sc} para la invención no es mejor que para la configuración planar. Como se ve en la figura 5, esta situación se invierte al aumentar el diámetro, y la J_{sc} alcanza un máximo a 1,75 μm . Finalmente, consideramos el rendimiento para la invención ya que la separación entre las fibras adyacentes fue variada. La J_{sc} varía poco a medida que la separación de las fibras se incrementa hasta 300 nm, mientras que muestra una caída ligeramente pronunciada a medida que las fibras adyacentes se acercan a superponerse progresivamente y eventualmente causando que la configuración final de la invención se asemeje a un dispositivo planar. Tal caída en la J_{sc} ocurre mayormente entre -100 y -200 nm. La separación ideal entre las fibras es de cero nm, en otras palabras, las fibras adyacentes deberían estar sólo en contacto.

20 En el presente texto, el término "comprende" y sus derivaciones (como "que comprende", etc.) no deben entenderse en sentido excluyente, es decir, no debe interpretarse que estos términos excluyen la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir otros elementos, etapas, etc.

25 Por otra parte, la invención no se limita obviamente a la realización o realizaciones específica(s) aquí descrita(s), sino que también abarca cualquier variación que pueda ser considerada por cualquier experto en la materia (por ejemplo, en lo que respecta a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance general de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo fotovoltaico que comprende:
- 5 una célula solar que comprende una capa activa (2) que reside entre la primera capa (3) de contacto eléctrico transmisora de luz en el lado destinado a enfrentarse los rayos solares y una segunda capa (1) de contacto eléctrico y un cuerpo unitario que consiste en un conjunto de fibras ópticas (4) paralelas cilíndricas y transparentes de igual diámetro colocadas una al lado de la otra y fusionadas entre sí, en dirección transversal de las fibras (4), en el que la célula solar es una película delgada depositada en el conjunto y estando el conjunto en la parte superior de la célula solar, en el lado de la célula solar destinado enfrentarse a los rayos solares, y en el que la primera capa (3) de contacto eléctrico transmisora de luz está en contacto directo con la superficie exterior cilíndrica de las fibras ópticas (4) transparentes en el conjunto.
- 10 2. Un dispositivo fotovoltaico según la reivindicación 1 en el que la capa activa (2) tiene un espesor entre 10 nm y 2 µm.
3. Un dispositivo fotovoltaico según las reivindicaciones 1 o 2 en el que el diámetro de las fibras está comprendido entre 0,5 y 500 µm.
- 15 4. Un dispositivo fotovoltaico según las reivindicaciones anteriores en el que la capa activa es una mezcla que contiene una mezcla de un polímero semiconductor conjugado y un compuesto de fullereno.
5. Un dispositivo fotovoltaico según las reivindicaciones 1-3 en el que la capa activa comprende una heterounión o heterounión en masa formada por pequeñas moléculas donantes y pequeñas moléculas receptoras.
- 20 6. Un dispositivo fotovoltaico según las reivindicaciones 1-3 en el que el material activo comprende una pila de dos o más materiales activos que forman una configuración de células en tándem, en el que la separación entre las capas activas de la pila comprende una capa intermedia para recombinar los orificios y los electrones cuando las capas activas están en una configuración en serie o un contacto eléctrico intermedio cuando las capas activas están en una configuración en paralelo.
- 25 7. Un dispositivo fotovoltaico según las reivindicaciones 1-3 en el que la región activa comprende una heterounión de película delgada de n y p semiconductores inorgánicos seleccionados del grupo que consiste en a-Si, CIGS, CdTe, Kesteritas, DSSC y perovskitas.
- 30 8. Un dispositivo fotovoltaico según cualquiera de las reivindicaciones 2-7 en el que una interfaz entre la primera capa (3) de contacto eléctrico transparente y la capa activa (2) está rellena con una fina capa de un material transportador de carga y el espacio que separa la capa activa (2) de la capa (1) de contacto metálica está relleno con una fina capa del material transportador de carga opuesta.
9. Un dispositivo fotovoltaico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que las fibras ópticas (4) están compuestas de sílice (SiO₂), zafiro, borosilicato (BK7) o PET.
10. Un dispositivo fotovoltaico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que la primera capa (3) de contacto eléctrico transparente está en contacto directo con el conjunto de fibras ópticas (4).

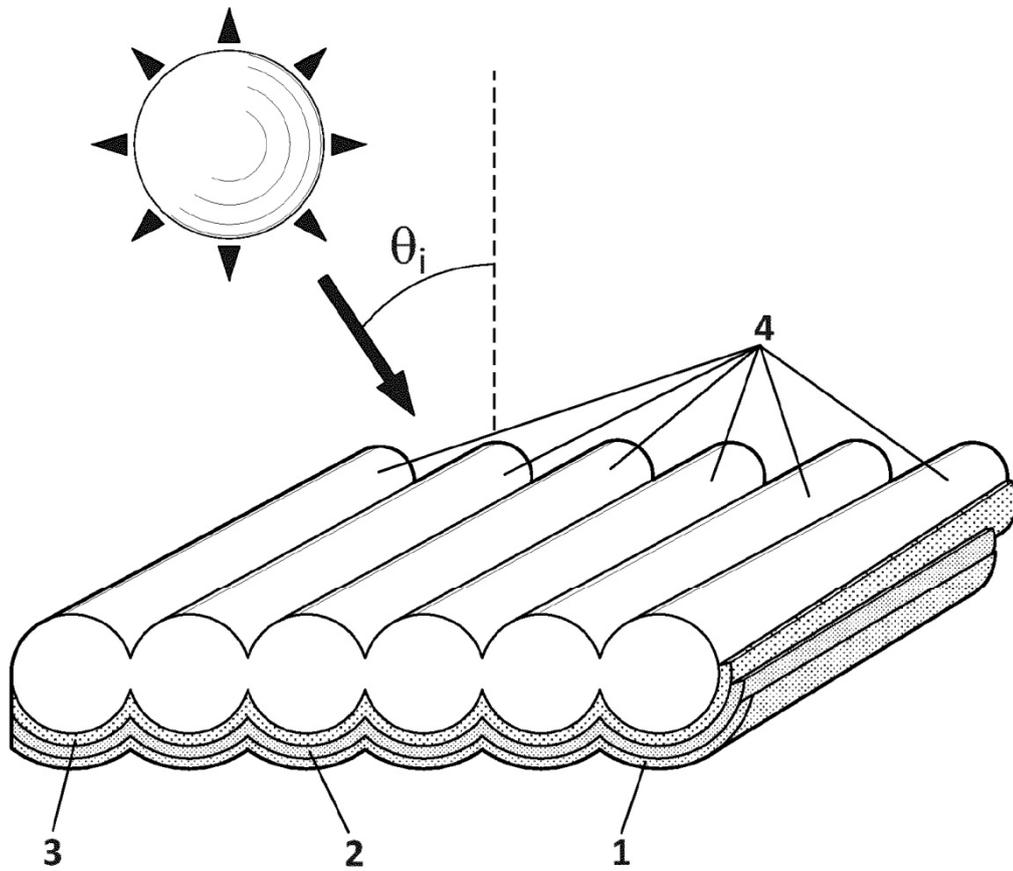


FIG. 1

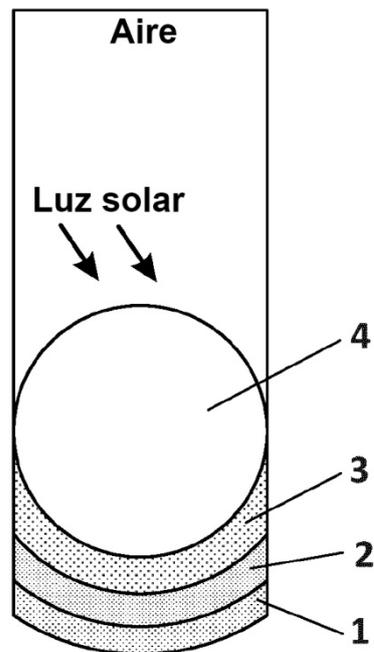


FIG. 2

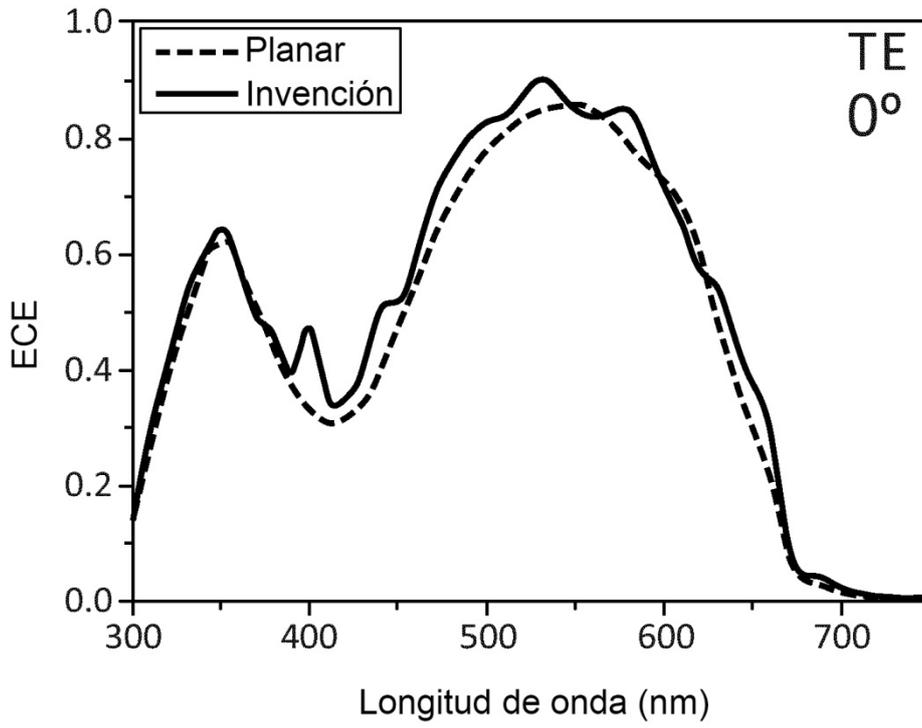


FIG. 3a

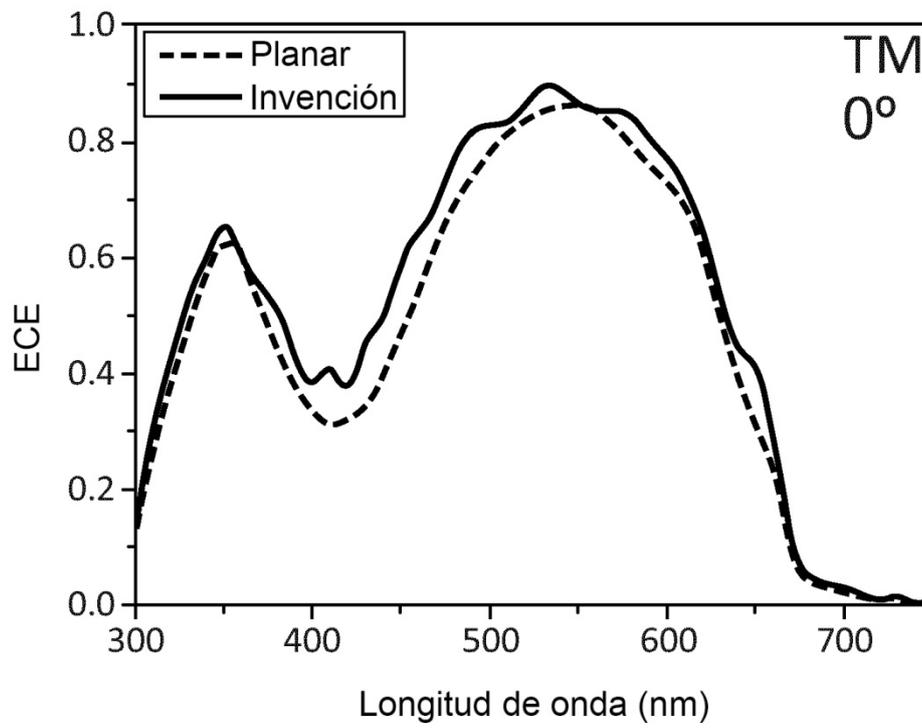


FIG. 3b

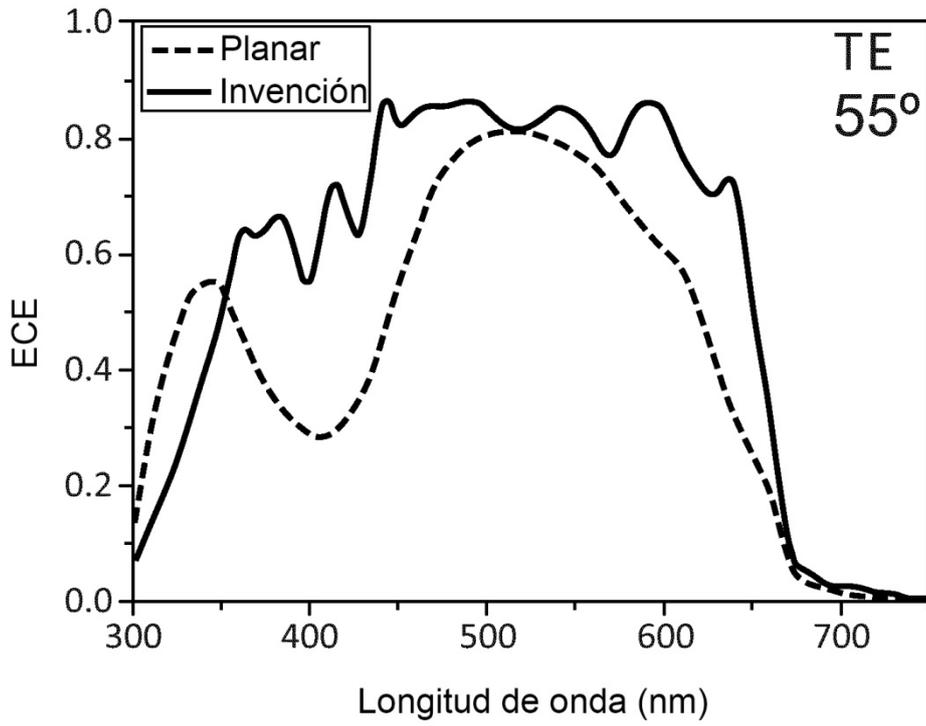


FIG. 3c

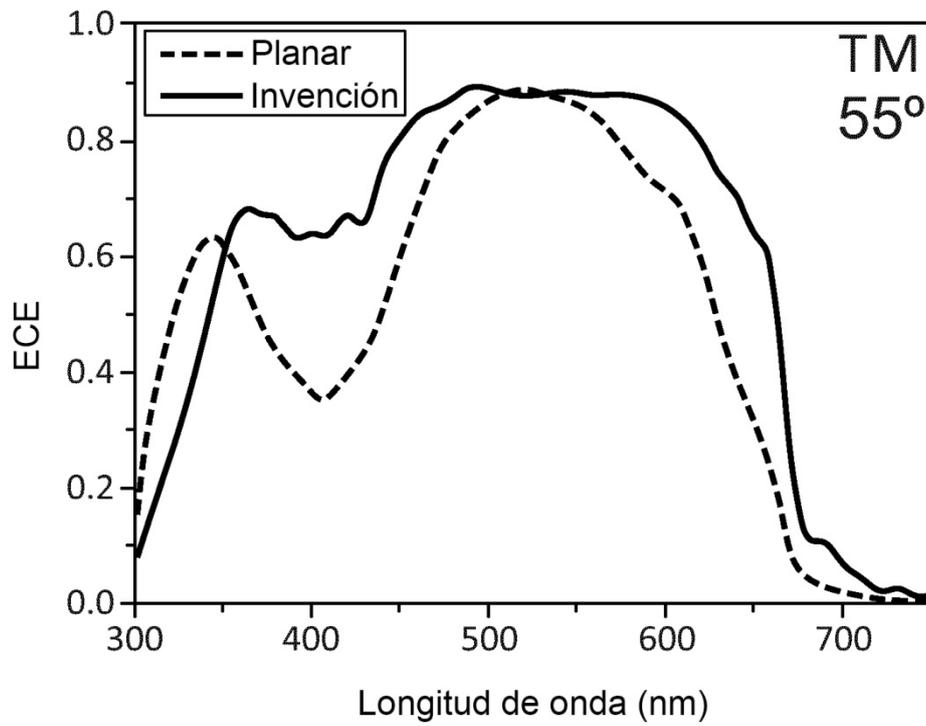


FIG. 3d

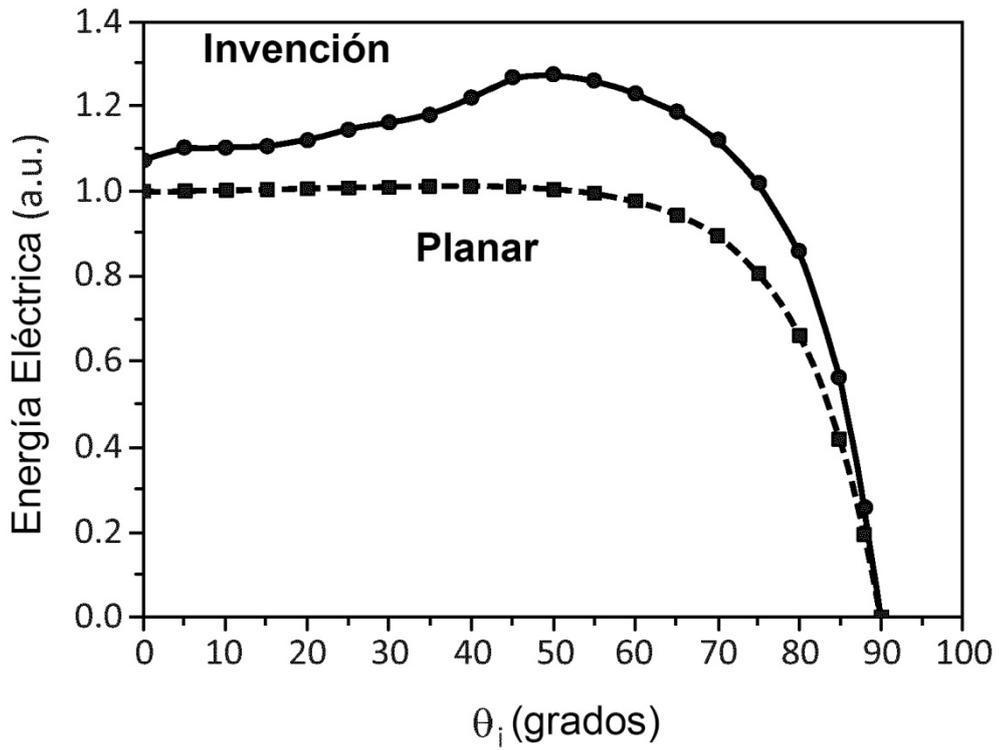


FIG. 4a

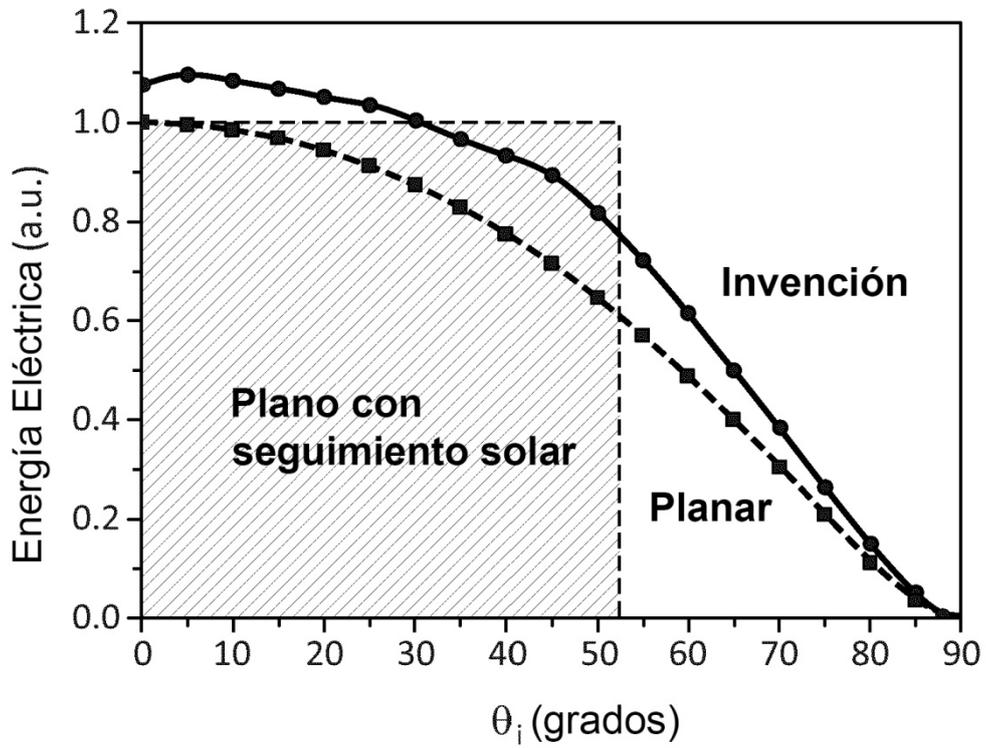


FIG. 4b

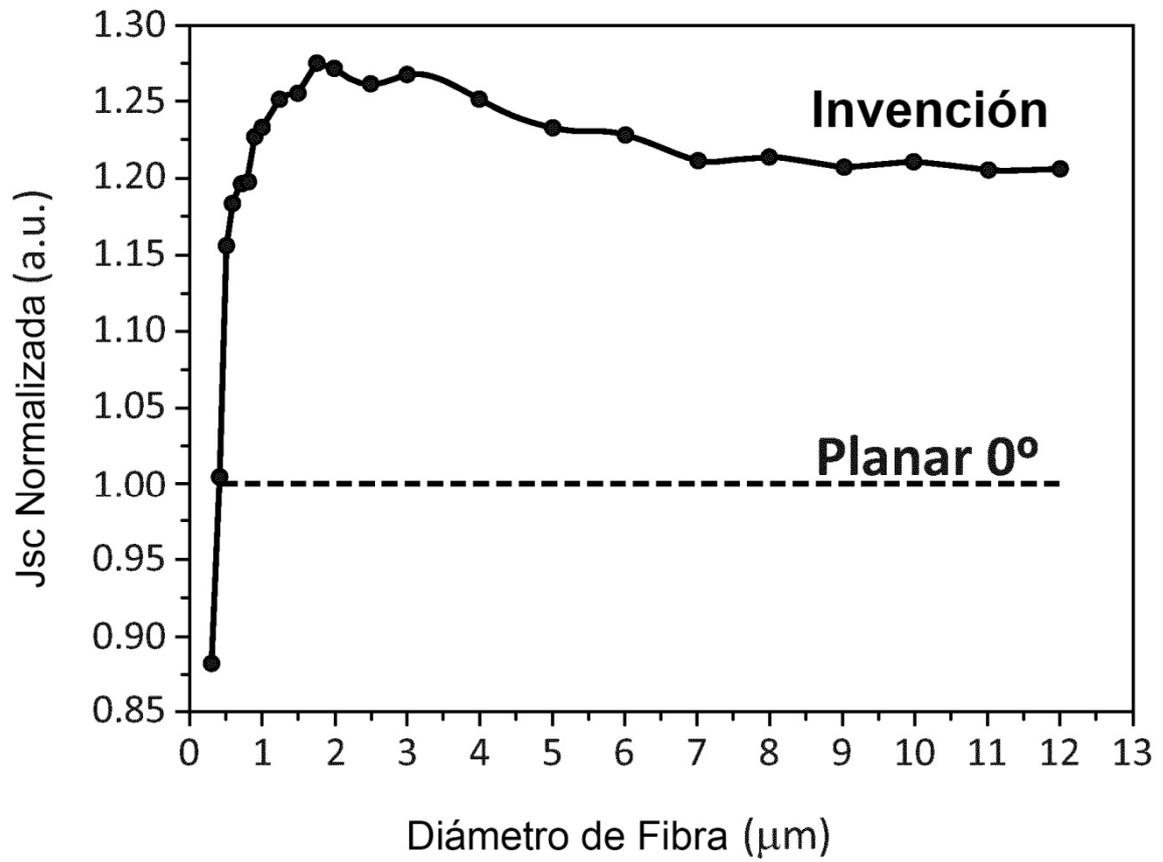


FIG. 5