(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 537 029**

(21) Número de solicitud: 201331748

(51) Int. Cl.:

H01L 31/048 (2014.01)
H01L 31/054 (2014.01)
A01G 9/14 (2006.01)

(12) SOLICITUD DE PATENTE A2

(22) Fecha de presentación:

29.11.2013

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

01.06.2015

(71) Solicitantes:

ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES, S.A. (100.0%)
Energía Solar 1
41014 Sevilla ES

(72) Inventor/es:

SANCHO MARTÍNEZ, Diego;
DELGADO SÁNCHEZ, José María;
SÁNCHEZ CORTEZÓN, Emilio;
JIMÉNEZ SOLANO, Alberto;
CALVO ROGGIANI, Mauricio Ernesto y
MÍGUEZ GARCÍA, Hernán Ruy

(74) Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

(54) Título: **DISPOSITIVO DE CONCENTRACIÓN SOLAR, PANEL FOTOVOLTAICO E INVERNADERO QUE LO INCLUYEN**

(57) Resumen:

Dispositivo de concentración solar, panel fotovoltaico e invernadero que lo incluyen.

Dispositivo de concentración solar caracterizado porque comprende un sustrato (4) transparente o semitransparente, un recubrimiento de cristal fotónico (2), al menos una célula fotovoltaica (1A, ...1D) dispuesta sobre el sustrato (4), con la superficie activa de la al menos una célula fotovoltaica dispuesta paralela al sustrato (4), y una capa de material luminiscente (3) dispuesta en contacto con el recubrimiento de cristal fotónico (2), en donde o bien el recubrimiento de cristal fotónico (2) está dispuesto sobre el sustrato (4) y la capa de material luminiscente (3) está dispuesta sobre el recubrimiento de cristal fotónico (2), o bien la capa de material luminiscente (3) está dispuesta sobre el sustrato (4) y el recubrimiento de cristal fotónico (2) está dispuesto sobre la capa de material luminiscente (3).

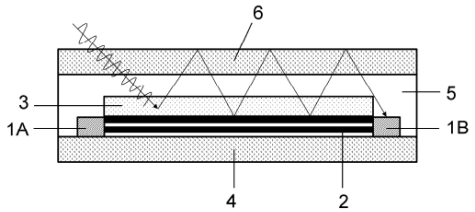

FIG. 2

ES 2 537 029 A2

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de concentración solar, panel fotovoltaico e invernadero que lo incluyen.

OBJETO DE LA INVENCIÓN

La presente invención pertenece al campo de los dispositivos opto-electrónicos para transformar la radiación solar en electricidad y se refiere, concretamente, a un dispositivo de concentración solar de tipo fotovoltaico, así como a un panel fotovoltaico y a un invernadero que lo incluyen.

El dispositivo de concentración solar de la invención es de aplicación tanto en campos solares como en integración arquitectónica en invernaderos o edificios.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

El diseño clásico de un dispositivo de concentración solar luminiscente (LSC), consiste en un dispositivo fotovoltaico que incorpora un material luminiscente. Este material luminiscente absorbe la radiación solar incidente de una región del espectro y la reemite con una longitud de onda mayor (menor energía). Si el ángulo de la luz emitida es mayor que el ángulo límite, la luz viaja a través de la guía de onda formada por el propio material luminiscente y por los materiales encapsulantes presentes en el dispositivo de concentración, debido al fenómeno físico de la reflexión total interna, hasta alcanzar unas células solares en las que se produce la conversión fotovoltaica de la radiación en electricidad.

Uno de los factores de pérdida en la eficiencia del dispositivo es la cantidad de luz que es capaz de guiar desde el punto de emisión luminiscente hasta la célula solar fotovoltaica. Por ejemplo, en el caso de un dispositivo de concentración solar con doble encapsulado de vidrio-vidrio inmerso en aire, para unos índices de refracción de 1,5 y 1,0 respectivamente, el ángulo crítico es 42º. Esto supone que sólo el 75% de la luz reemitida por el material luminiscente es guiada hasta la célula solar fotovoltaica.

Para solucionar este problema, se conocen técnicas que mejoran la cantidad de radiación solar incidente en la célula solar, como por ejemplo la inclusión de una capa difusora trasera opaca, o un texturado del vidrio trasero. El inconveniente que presentan las capas difusoras es que la transmisividad del dispositivo es nula, lo que hace imposible que se pueda incorporar al mercado fotovoltaico de integración arquitectónica. Por otra parte, el inconveniente que presenta el texturado del vidrio trasero es que la texturización reduce parcialmente la transmisividad del dispositivo y parte de la luz reflejada tiene un perfil isótropo, por lo que la probabilidad de que vuelva a escapar por la cara frontal del vidrio es alta, consiguiéndose así tan solo una solución parcial del problema planteado.

Otra alternativa de dispositivo LSC consiste en un apilamiento de distintos materiales luminiscentes, cada uno de ellos con diferentes bandas de emisión dentro del rango visible. El problema que presenta este tipo de diseño reside en la imposibilidad de colocar una célula fotovoltaica que sea capaz de aprovechar todas las longitudes de onda fotoemitidas. Se tendría entonces que usar diferentes tipos de células solares, cada una optimizada para cada longitud de onda fotoemitida, que es diferente según el material luminiscente, lo que supondría un coste inviable de producto. Además, cada una de estas diferentes células tendría una corriente eléctrica diferente y, al conectarlas en serie, todas las células trabajarían a la menor de las corrientes, por lo que el sistema fotovoltaico sería de menor eficiencia.

También existen diseños que utilizan espejos como recubrimientos ópticos para maximizar el guiado de luz, con el inconveniente de que el panel resultante es opaco, lo que limita sus aplicaciones arquitectónicas.

Adicionalmente, existen dispositivos de concentración solar en el estado de la técnica que

hacen uso de recubrimientos de cristales fotónicos para maximizar el guiado de luz hacia las células. En estos dispositivos de concentración, las células solares se disponen con sus superficies activas orientadas hacia los cantos de un vidrio encapsulante y a través del que se guía la luz, con el fin de que las superficies activas sean perpendiculares a la radiación fotoemitida por el material luminiscente. Esta alternativa de diseño que pretende mejorar el rendimiento de los dispositivos concentradores solares luminiscentes convencionales, presenta las siguientes limitaciones:

- La célula sólo recibe la radiación fotoemitida por el material luminiscente y con guiado optimizado por el cristal fotónico, sin recibir la radicación directa del sol.
- Dado que las células han de ser instaladas en el canto del vidrio, una de sus dimensiones ha de ser reducida, lo que dificulta y encarece su manufactura.
- La colocación de las células en el canto del dispositivo exige una etapa adicional en el proceso de fabricación del dispositivo LSC: pegado de las células en el canto del vidrio y protección de las mismas frente a condiciones ambientales.

En lo que respecta al campo de aplicación en invernaderos, el crecimiento y floración de las plantas no responde a una condición de contorno de radiación única. Por el contrario, se ha observado que dependiendo del tipo de radiación, tipo de ubicación geográfica y tipo de cultivo, determinadas plantaciones se ven favorecidas, bien en el tiempo de germinación del fruto o bien en el tamaño del mismo, cuando se modifican las condiciones de iluminación.

A día de hoy, existen invernaderos tradicionales que incorporan materiales con funciones adicionales de control solar, como vidrios, plástico o LEDS. Sin embargo, presentan limitaciones relativas a los altos costes de inversión, la falta de aceptación social en el sector agrícola, y la falta de fiabilidad en la durabilidad de los productos sometidos a las inclemencias atmosféricas por un tiempo prolongado.

Como alternativa, existen diseños basados en células solares planas que facilitan el proceso de fabricación pero sufren mayores pérdidas por guiado, lo que reduce la eficiencia del dispositivo de concentración frente a configuraciones convencionales.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención propone una solución a los problemas anteriores mediante un dispositivo de concentración solar según la reivindicación 1, un panel fotovoltaico según la reivindicación 17 y un invernadero según la reivindicación 18. En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones preferidas de la invención.

Según un primer aspecto inventivo, se proporciona un dispositivo de concentración solar que comprende

- un sustrato transparente o semitransparente,
- un recubrimiento de cristal fotónico,
- al menos una célula fotovoltaica dispuesta sobre el sustrato, con la superficie activa de la al menos una célula fotovoltaica dispuesta paralela al sustrato, y
- una capa de material luminiscente dispuesta en contacto con el recubrimiento de cristal fotónico,

en donde o bien el recubrimiento de cristal fotónico está dispuesto sobre el sustrato y la capa de material luminiscente está dispuesta sobre el recubrimiento de cristal fotónico, o bien la capa de material luminiscente está dispuesta sobre el sustrato y el recubrimiento de cristal fotónico está dispuesto sobre la capa de material luminiscente.

Se propone por tanto un dispositivo de concentración solar luminiscente en el que las células están dispuestas en una configuración plana, encapsuladas en el plano del sustrato, y que además incorpora un recubrimiento de cristal fotónico, minimizando así las pérdidas por guiado y maximizando el rendimiento del dispositivo.

Ventajosamente, con el dispositivo de concentración solar de la invención las células fotovoltaicas pueden recibir tanto la luz directa del sol, como la luz guiada por el cristal fotónico. Además, la fabricación del dispositivo de concentración solar se facilita con respecto a la de los dispositivos de concentración solar del estado de la técnica, en los que se situaban las células fotovoltaicas en el canto, al no tener que posicionar en el fino canto de una lámina luminiscente las células fotovoltaicas. Así, la presente invención requiere menos etapas de fabricación y permite el uso de células solares con tamaños estándar y más económicos, lo que resulta en un ahorro económico del dispositivo de concentración solar final.

En el dispositivo de concentración solar de la invención, las células fotovoltaicas están dispuestas con sus superficies activas paralelas al sustrato transparente o semitransparente que las soporta.

Además, el cristal fotónico puede estar también depositado sobre el sustrato, aproximadamente a la misma altura que las células fotovoltaicas, estando en ese caso la capa de material luminiscente dispuesta sobre el recubrimiento de cristal fotónico. Esta disposición es especialmente favorable cuando el cristal fotónico está seleccionado de manera que su pico de Bragg coincida espectralmente con el pico de absorción o con la convolución de los picos de absorción y de emisión del material luminiscente. Alternativamente, la capa de material luminiscente puede estar dispuesta sobre el sustrato y el recubrimiento de cristal fotónico estará dispuesto en este caso sobre la capa de material luminiscente, siendo esta disposición especialmente favorable cuando el cristal fotónico está seleccionado de manera que su pico de Bragg coincida espectralmente con el pico de emisión del material luminiscente o de convolución de los picos de absorción y de emisión del material luminiscente.

Se entenderá como superficie activa de la célula fotovoltaica la superficie de la célula fotovoltaica prevista para la incidencia de fotones, parte de los cuales son absorbidos por el material semiconductor y tras alcanzar la unión PN son convertidos en pares electrón-hueco.

Según la invención, el sustrato del dispositivo de concentración solar es transparente o semi-transparente. En la presente memoria se entenderá que un sustrato o una lámina semitransparentes son aquéllos que dejan pasar al menos más del 1% de radiación solar. El sustrato puede ser rígido o flexible. Materiales preferidos para el sustrato son cerámicos, poliméricos o metálicos, siempre que sean transparentes o semitransparentes. Más preferentemente, el sustrato es de vidrio.

En una realización preferida el sustrato es sustancialmente plano.

El material luminiscente viene definido por las posiciones de sus picos de absorción y de emisión y funciona transformando el espectro solar incidente en uno que pueda ser óptimo para la eficiencia fotovoltaica, esto es, coincidente con su banda prohibida (*bandgap*). Para ello, se realiza un ajuste del pico de Bragg del recubrimiento de cristal fotónico para maximizar la radiación que incide en la célula.

A su vez, el cristal fotónico viene definido por la posición de su pico de Bragg, correspondiente a las longitudes de onda reflejadas por el cristal fotónico. Preferentemente, dicho cristal fotónico se caracteriza por tener su pico de Bragg situado en el pico de longitudes de onda de absorción, emisión o convolución del material luminiscente con el que va a coexistir en el dispositivo de concentración solar. De este modo, el recubrimiento de cristal fotónico en el dispositivo de concentración solar de la invención optimiza la cantidad de radiación solar proveniente del material luminiscente que llega a las células fotovoltaicas.

El cristal fotónico puede estar en contacto lateral con las células fotovoltaicas, es decir, con los cantos del cristal fotónico y de las células fotovoltaicas en contacto, pero sin cubrir la superficie activa de las células fotovoltaicas.

Ventajosamente, el dispositivo de concentración solar según la presente invención mejora el guiado de luz hacia las células fotovoltaicas, reduciendo las pérdidas por guiado, aumentando así la cantidad de luz que reciben las células fotovoltaicas, con el consiguiente incremento en la cantidad de electricidad generada. Además, en el dispositivo de concentración solar de la invención el recubrimiento de cristal fotónico está en contacto directo con la capa de material luminiscente, lo que minimiza las pérdidas por radiación asociadas al espesor del dispositivo de concentración solar, mejorando la producción eléctrica del dispositivo. Además, el dispositivo de concentración de la invención permite aprovechar dos fuentes de luz simultáneamente: por un lado, la radiación solar directa recibida y adicionalmente la luz fotoemitida por el material luminiscente y guiada por el cristal fotónico. Todo ello resulta en una mayor producción energética al tiempo que se mantiene un coste económico del dispositivo de concentración solar.

En una realización, el dispositivo de concentración solar comprende una lámina superior de un material transparente o semitransparente, dispuesta cubriendo la al menos una célula fotovoltaica y la capa de material luminiscente o el recubrimiento de cristal fotónico, según corresponda, es decir, dependiendo de cuál de entre el material luminiscente y el cristal fotónico esté dispuesto más alejado del sustrato. Ventajosamente, mediante la lámina superior se encapsulan y protegen los restantes componentes del dispositivo de concentración solar frente a las condiciones atmosféricas. La lámina superior puede estar realizada de un material rígido o flexible. En una realización la lámina superior es de vidrio.

En una realización, el dispositivo de concentración solar comprende adicionalmente una lámina de material encapsulante dispuesta entre la lámina superior y la capa de material luminiscente o el recubrimiento de cristal fotónico, según corresponda. La lámina de material encapsulante permite adherir la lámina superior al resto del dispositivo de concentración, acoplar ópticamente los distintos componentes e impedir que la humedad degrade las células fotovoltaicas. Preferentemente, el material encapsulante es un polímero termoplástico, tal como etilenvinilacetato (EVA) o polivinilo butiral (PVB).

En una realización, el dispositivo de concentración solar presenta una pluralidad de células fotovoltaicas dispuestas con disposición plana sobre el sustrato y rodeando al menos parcialmente el recubrimiento de cristal fotónico o la capa de material luminiscente, según corresponda.

En una realización preferida, el material luminiscente es un material luminiscente orgánico. Los materiales luminiscentes orgánicos presentan las siguientes ventajas frente a otros materiales:

- Poseen mayor rango espectral de absorción y emisión.
- Presentan una amplia variedad de formulaciones, lo que permita customizar el pico de emisión en función de las necesidades de la aplicación.
- Cuando están debidamente encapsulados, presentan mayor estabilidad en el tiempo.
- Tienen un coste de materia prima menor que otros materiales, lo que permite el escalado.

No obstante, pueden emplearse otros materiales como material luminiscente, tal como elementos y/o complejos que contienen elementos de tierras raras, puntos cuánticos, materiales plasmónicos, así como cualquier combinación de los anteriores

En una realización, la al menos una célula fotovoltaica es de tipo Si, calcogenuros, kesteritas,

células orgánicas, DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cells*), perovskitas, células III-V o cualquier combinación de los anteriores.

En una realización, el cristal fotónico es un cristal fotónico unidimensional (PC1D, del inglés "*Photonic Crystal 1 Dimension*"), es decir, que presenta una estructura compuesta por una pluralidad de capas de al menos dos materiales distintos dispuestas periódicamente en una dimensión. Preferentemente, el cristal fotónico presenta una estructura de capas de dos únicos materiales, dispuestos de manera alterna periódica.

En una realización, el recubrimiento de cristal fotónico incluye al menos dos cristales fotónicos.

En una realización los materiales del cristal fotónico se seleccionan del grupo formado por: nitruros, óxidos, metales, siliciuros, oxinitruros y carburos.

En una realización el cristal fotónico presenta entre 2 y 1000 capas, preferentemente entre 5 y 200 capas, más preferentemente entre 10 y 100 capas, y más preferentemente aún entre 15 y 30 capas.

En una realización el espesor de cada capa de la estructura del cristal fotónico está comprendido en el intervalo entre 10 y 1000 nm.

En una realización el espesor de la capa de material luminiscente está comprendido en el intervalo entre 1 y 1000 nm.

En una realización el cristal fotónico está seleccionado de manera que su pico de Bragg coincide con:

a) el pico de emisión del material luminiscente,

b) el pico de absorción del material luminiscente, o

c) la convolución del pico de absorción y el pico de emisión del material luminiscente.

Cuando el cristal fotónico está seleccionado de manera que su pico de Bragg está sintonizado con el pico de emisión del material luminiscente, se favorece el guiado de la luz emitida por el material luminiscente mediante el recubrimiento de cristal fotónico hasta las células fotovoltaicas. Cuando el cristal fotónico está seleccionado de manera que su pico de Bragg está sintonizado con el pico de absorción del material luminiscente, se favorece la probabilidad de generar mayor radiación luminiscente porque los fotones que escapan al proceso de fotoluminiscencia vuelven a ser dirigidos al material luminiscente. Así, al haber mayor probabilidad de fotoemisión, hay mayor radiación sobre la célula solar. Cuando el cristal fotónico está seleccionado de manera que su pico de Bragg está sintonizado con la convolución del pico de absorción y el pico de emisión del material luminiscente, se favorecen los dos efectos anteriores.

En una realización, las células fotovoltaicas presentan una anchura (Wc) de entre 0,1 y 300 cm, preferentemente de entre 0,1 y 10 cm y/o una longitud (Lc) de entre 0,1 y 1000 cm.

En un segundo aspecto la invención se refiere a un panel fotovoltaico que comprende al menos un dispositivo de concentración solar según el primer aspecto inventivo.

El dispositivo de concentración solar de la invención tiene una doble funcionalidad, tanto la producción de energía solar como la de formar parte de la estructura de un invernadero o en arquitectura de edificios.

Así, en un tercer aspecto la invención se refiere a un invernadero que comprende al menos un dispositivo de concentración solar según el primer aspecto inventivo.

Ventajosamente, con el dispositivo de concentración solar de la invención, se mejora el guiado

de luz a las células fotovoltaicas por la presencia del cristal fotónico, lo que permite que las células reciban mayor cantidad de luz ocupando una superficie menor. Al mismo tiempo, la luz que llega al interior del invernadero está optimizada por el uso de los materiales luminiscentes.

Los invernaderos tradicionales se dividen en invernaderos rígidos (fabricados en sustratos de vidrios o polímeros) y en invernaderos flexibles (normalmente fabricados por láminas de polietileno de baja densidad multicapa) con mayor o menor grado de tecnología. En los últimos años ha habido un incremento del nivel de tecnología en invernaderos rígidos mediante la introducción de LEDs para acelerar el crecimiento de las cosechas. Adicionalmente ha habido varios estudios para integrar energía solar fotovoltaica haciendo uso de células solares de silicio en paneles de vidrio laminado. La principal desventaja de estos sistemas es que las células de silicio impiden en un alto grado el paso de la luz al propio invernadero, afectando por tanto la producción de la cosecha del mismo. Otra desventaja adicional es el coste de los propios paneles para ser integrados en invernaderos.

La ventaja del dispositivo de concentración solar de la invención en relación con su uso en invernaderos es la combinación de los cuatro componentes siguientes: (1) recubrimiento de cristal fotónico, (2) presencia de materiales luminiscentes, (3) células fotovoltaicas y (4) un sustrato transparente, que en combinación reducen los costes de operación del invernadero por varios motivos.

En primer lugar, el uso del dispositivo de concentración solar de la invención posibilita tener un producto transparente que dirige la luz al interior del invernadero (luz modificada por el uso de materiales luminiscentes) y que al mismo tiempo produce electricidad para consumo interno del invernadero. Esto es debido a que el tamaño de célula puede hacerse muy inferior al de los paneles fotovoltaicos tradicionales, lo que resulta en una gran transparencia del dispositivo de concentración solar en conjunto, favoreciendo su uso en invernaderos y, en general, en integración arquitectónica (BIPV, *Building integrated photovoltaics*).

Además, el uso de al menos un dispositivo de concentración solar según la invención en un invernadero permite ajustar las condiciones de radiación a las necesidades específicas del cultivo, de forma que la distribución espectral de la energía pueda ser más eficiente para el usuario. Así, el coste del fruto es menor porque la planta produce más masa por unidad cultivada y/o las temporadas de recolección son más cortas, por lo que al final del año hay más ciclos de cosecha y la productividad es mayor.

Adicionalmente, teniendo en consideración que en los invernaderos se dan fenómenos que están controlados por luz, como floración, crecimiento, elongación del tallo, etc., con el dispositivo de concentración solar según la invención se consigue que parte de la luz llegue a las plantas y parte genere electricidad para que el invernadero tenga un consumo cero de energía o sea autónomo. La presencia de cristales fotónicos y material luminiscente en la presente invención permite absorber, reemitir y redirigir una parte de la luz captada por el panel completo hacia las células solares. Este incremento de luz que de otra forma no se produciría lleva consigo un aumento de la eficiencia y de la potencia generada por el dispositivo de concentración solar. Adicionalmente, el tipo de luz redirigida se ha transformado en una luz donde la célula fotovoltaica tiene una mayor producción eléctrica, en un modo similar al de las plantas. Así, el dispositivo de concentración solar de la invención permite reducir los costes de producción al introducir materiales más económicos y proporcionar generación de energía eléctrica.

Las mismas ventajas también aplican en el caso de que el dispositivo de concentración solar de la invención se destine a integración en edificios (BIPV), con la excepción de las ventajas asociadas a la producción de cosecha del invernadero.

Todas las características y/o las etapas de métodos descritas en esta memoria (incluyendo las reivindicaciones, descripción y dibujos) pueden combinarse en cualquier combinación,

exceptuando las combinaciones de tales características mutuamente excluyentes.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Estas y otras características y ventajas de la invención, se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción detallada que sigue de una forma preferida de realización, dada únicamente a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, con referencia a las figuras que se acompañan.

La figura 1 muestra un dispositivo de concentración solar luminiscente con las células en los cantos, según el estado de la técnica.

La figura 2 muestra una vista en corte transversal de un dispositivo de concentración solar según una realización de la invención.

La figura 3 muestra una vista en perspectiva explosionada de un dispositivo de concentración solar según la invención.

Las figuras 4 a 6 muestran las curvas de reflectancia del cristal fotónico y de emisión/absorción del material luminiscente para tres ejemplos del dispositivo de concentración solar según la invención.

La figura 7 muestra esquemáticamente tres tipos de dispositivo de concentración solar.

La figura 8 representa el factor de mejora de un dispositivo de concentración solar según la invención, comparado con otros dos tipos de dispositivo de concentración solar.

EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

La figura 1 muestra un dispositivo de concentración solar luminiscente según el estado de la técnica, en el que las células fotovoltaicas (10A, 10B) están dispuestas en el canto de un material luminiscente (30), con sus superficies activas orientadas hacia el material luminiscente, y un cristal fotónico (20) está dispuesto en la superficie externa del dispositivo. Este dispositivo de concentración solar, con las células fotovoltaicas colocadas en el canto, presenta las siguientes limitaciones:

a. Las células fotovoltaicas sólo reciben la radiación fotoemitida por el material luminiscente y con guiado optimizado por el cristal fotónico, sin recibir la radiación directa del sol.

b. Cuando las células han de ser instaladas en el canto del vidrio, una de sus dimensiones ha de tener un tamaño reducido (el del espesor del vidrio). Esto tiene consecuencias negativas desde el punto de vista de la manufactura: difícil manipulación, coste adicional en el corte de la célula en bajas dimensiones con buena resolución, iluminación no uniforme porque la radiación en las esquinas no es la misma que en el centro de los cantos, etc.

c. Cuando las células se instalan en el canto se exige una etapa adicional en el proceso de fabricación del dispositivo LSC: pegado de las células en el canto del vidrio y protección de las mismas frente a condiciones ambientales.

En la figura 2 se muestra una vista en sección de un dispositivo de concentración solar según una realización de la invención. Dicho dispositivo de concentración incluye un sustrato (4) plano transparente o semitransparente, un recubrimiento de cristal fotónico (2) dispuesto sobre el sustrato (4), dos células fotovoltaicas (1A, 1B) dispuestas sobre el sustrato (4), y una capa de material luminiscente (3) dispuesta sobre el recubrimiento de cristal fotónico (2), en contacto con él. Las superficies activas de las células fotovoltaicas (1A, 1B) están dispuestas paralelas al sustrato (4). En la figura las superficies activas serían las orientadas hacia la parte superior de la figura.

A diferencia del dispositivo representado en la figura 1, en el dispositivo de concentración solar

de la invención existe una contribución adicional por radiación directa incidente en las células fotovoltaicas. Por lo tanto, para la misma eficiencia fotovoltaica, el dispositivo de concentración solar de la invención produce mayor cantidad de energía eléctrica que un dispositivo de concentración del tipo representado en la figura 1.

Además, al estar instaladas las células fotovoltaicas en el propio sustrato, el tamaño de la célula no es un factor limitante, lo que permite usar tamaños estándar que reducen el coste de la materia prima y facilitan la manipulación mediante el uso de equipos de producción estándar.

Finalmente, cuando se instalan las células solares en el propio sustrato, puede aprovecharse el proceso de encapsulado para protegerlas de las condiciones ambientales y asegurar su estabilidad, sin necesidad de elementos ni etapas adicionales de protección.

En la presente invención, el acercamiento del cristal fotónico a la superficie superior de la lámina de vidrio implica que se impide el reflexión de la luz en la lámina inferior de vidrio, evitando que lleguen fotones a la superficie inferior e improductiva de las células solares, y además aumenta la frecuencia de reflexión de la luz, lo que incrementa la probabilidad de que en uno de ellos llegue a la superficie de la célula y no a las zonas del sustrato no cubiertas por las células solares. En la figura 2 se esquematiza el comportamiento anterior.

La figura 3 muestra una vista en perspectiva explosionada de un dispositivo de concentración solar según una realización de la invención. El dispositivo de concentración solar incluye un sustrato (4), un recubrimiento de cristal fotónico (2) dispuesto sobre el sustrato, cuatro células fotovoltaicas (1A, 1B, 1C, 1D) dispuestas sobre el sustrato (4) alrededor del cristal fotónico (2) y una capa de material luminiscente (3) dispuesta sobre el recubrimiento de cristal fotónico (2), en contacto con él. Como se aprecia en la figura, en el dispositivo de concentración solar según la invención las células fotovoltaicas están dispuestas sobre el sustrato con sus superficies activas paralelas al sustrato.

En las realizaciones de las figuras 2 y 3 el dispositivo de concentración solar presenta adicionalmente una lámina superior (6), en este caso de vidrio, que cubre la capa de material luminiscente (3) y las células fotovoltaicas con la intermediación de una lámina de material encapsulante (5). De esta manera los componentes del dispositivo de concentración solar quedan ópticamente acoplados y protegidos de las condiciones atmosféricas.

En la realización ejemplificada en la figura 3, las células solares presentan en sus superficies destinadas a exponerse a la radiación solar unas dimensiones (Wc x Lc) de aproximadamente 5 cm x 1 cm. El substrato de vidrio presenta una superficie (Ws x Ls) de aproximadamente 7 cm x 7 cm y un espesor (Hs) de aproximadamente 2 mm. Se entenderá que otras dimensiones son igualmente posibles para los elementos del dispositivo de concentración solar de la invención.

En las realizaciones de las figuras 2 y 3 el recubrimiento de cristal fotónico (2) está dispuesto sobre el sustrato (4) y la capa de material luminiscente (3) está dispuesta sobre el recubrimiento de cristal fotónico (2). No obstante, en otras realizaciones el material luminiscente y el cristal fotónico podrían estar dispuestos en el orden inverso, es decir, con la capa de material luminiscente (3) dispuesta sobre el sustrato (4) y el recubrimiento de cristal fotónico (2) dispuesto sobre la capa de material luminiscente (3).

El dispositivo de concentración solar de la invención puede integrarse como parte de un panel fotovoltaico para su uso en parques solares o puede integrarse como parte de un elemento arquitectónico, tal como un invernadero.

EJEMPLOS

La caracterización experimental del dispositivo de concentración solar de la invención consiste en medir bajo una fuente de radiación constante AM1.5G a 1 sol, la corriente de cortocircuito

de las células (I_{sc}). El cociente de las corrientes de cortocircuito medida en un dispositivo de concentración solar con cristal fotónico y un dispositivo de concentración solar sin cristal fotónico será el factor de mejora.

El factor de mejora permitirá caracterizar los dispositivos de concentración solares. Se entiende por factor de mejora la mejora en cantidad de electricidad producida por el hecho de incluir un cristal fotónico en su diseño para mejorar el guiado de luz desde el foco emisor luminiscente hasta el foco receptor que es la célula solar. Para calcular este rendimiento se mide la corriente de cortocircuito de la célula (I_{sc}) en condiciones estándar (STC) según norma IEC. Este parámetro eléctrico se mide en dos configuraciones: con y sin cristal fotónico, y el cociente entre ambos valores es el factor de mejora.

En todos los ejemplos ilustrativos se ha empleado un material luminiscente orgánico con el pico de emisión en 610 nm y el pico de absorción en 580 nm, aproximadamente.

Como se ha mencionado anteriormente, un cristal fotónico está completamente caracterizado por su pico de Bragg. En un cristal fotónico unidimensional el número de capas determina la intensidad y la anchura del pico de Bragg, mientras que el espesor de las capas y el contraste entre los índices de refracción de las capas determina la posición espectral del pico de Bragg. Así, en función de las características de absorción y emisión del material luminiscente, es posible diseñar un cristal fotónico unidimensional con un pico de Bragg tal que esté sintonizado con el pico de absorción o el pico de emisión del material luminiscente, o con una convolución de ambos.

El dispositivo de concentración solar de los 3 ejemplos cuenta con una célula fotovoltaica de lámina delgada de tecnología de calcogenuro.

Ejemplo 1

En un primer ejemplo de realización, el dispositivo de concentración solar de la invención presenta un cristal fotónico unidimensional con 11 capas, con el pico de Bragg sintonizado con el pico de emisión del material luminiscente en 610 nm y las siguientes características:

Estructura de capas: 12 12 12 12 12 1

Espesor de la capa de tipo 1: TiO_2: 100 nm con índice de refracción 1,72

Espesor de la capa de tipo 2: SiO_2: 90 nm con índice de refracción 1,25

En la figura 4 se muestra la caracterización óptica del cristal fotónico. Se caracterizan las propiedades de reflexión y transmisión mediante la representación de la reflectancia del cristal fotónico. Además, se muestra en la figura la curva de emisión del material luminiscente.

El factor de mejora obtenido con el dispositivo concentrador del primer ejemplo es de 11 a 12%.

Ejemplo 2

En un segundo ejemplo de realización, el dispositivo de concentración de la invención presenta un cristal fotónico unidimensional con 11 capas, con el pico de Bragg sintonizado con el pico de absorción del material luminiscente en 580 nm y las siguientes características:

Estructura de capas: 12 12 12 12 12 1

Espesor de la capa de tipo 1: TiO_2: 80 nm con índice de refracción 1,72

Espesor de la capa de tipo 2: SiO_2: 90 nm con índice de refracción 1,25

En la figura 5 se muestra la caracterización óptica del cristal fotónico y del material luminiscente

del segundo ejemplo.

El factor de mejora en este ejemplo es de 11-12%.

Ejemplo 3

En un tercer ejemplo de realización, el dispositivo de concentración de la invención presenta un cristal fotónico unidimensional con 18 capas, formado por dos cristales fotónicos, con el pico de Bragg sintonizado con el pico de absorción en 580 nm y de emisión en 610 nm del material luminiscente y las siguientes características:

Estructura de capas: 12 12 12 12 23 23 23 23 23

Espesor de la capa de tipo 1: TiO_2: 70 nm con índice de refracción 1,72

Espesor de la capa de tipo 2: SiO_2: 90 nm con índice de refracción 1,25

Espesor de la capa de tipo 3: TiO_2: 120 nm con índice de refracción 1,72

En la figura 5 se muestra la caracterización óptica del cristal fotónico y del material luminiscente del tercer ejemplo. Como se ha mencionado, en este caso el pico de Bragg del cristal fotónico está sintonizado con la convolución del pico de absorción y de emisión del material luminiscente.

El factor de mejora en este ejemplo es de 11 a 12%.

En la figura 8 se representa el factor de mejora obtenido para los tres ejemplos anteriores, correspondientes, respectivamente, a las tres columnas identificadas como C en la figura 8. Se incluyen además, a modo de comparación, los resultados para un dispositivo de concentración solar de control (A), que incluye células fotovoltaicas (10A, 10B) pero no incluye material luminiscente ni cristal fotónico, y para un dispositivo de concentración solar (B) con material luminiscente (30) y sin cristal fotónico. En la figura 7 se han representado de manera esquemática los tres dispositivos de concentración solar mencionados. De ellos, el dispositivo de concentración C corresponde a un dispositivo de concentración solar según la invención.

Se puede apreciar en la figura 8 que el factor de mejora del dispositivo de concentración según la invención (C) es aproximadamente el 15%-16% respecto a la muestra de control (A) sin material luminiscente, y el 11% respecto a una muestra con luminiscente (B).

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de concentración solar caracterizado porque comprende

un sustrato (4) transparente o semitransparente,

un recubrimiento de cristal fotónico (2),

al menos una célula fotovoltaica (1A, …1D) dispuesta sobre el sustrato (4), con la superficie activa de la al menos una célula fotovoltaica dispuesta paralela al sustrato (4), y

una capa de material luminiscente (3) dispuesta en contacto con el recubrimiento de cristal fotónico (2),

en donde o bien el recubrimiento de cristal fotónico (2) está dispuesto sobre el sustrato (4) y la capa de material luminiscente (3) está dispuesta sobre el recubrimiento de cristal fotónico (2), o bien la capa de material luminiscente (3) está dispuesta sobre el sustrato (4) y el recubrimiento de cristal fotónico (2) está dispuesto sobre la capa de material luminiscente (3).

2. Dispositivo de concentración solar según la reivindicación 1, caracterizado porque el sustrato es un sustrato de vidrio, cerámico, polimérico o metálico.

3. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende una lámina superior (6) de un material transparente o semitransparente, dispuesta cubriendo la al menos una célula fotovoltaica (1A,…1D) y la capa de material luminiscente (3) o el recubrimiento de cristal fotónico (2), según corresponda.

4. Dispositivo de concentración solar según la reivindicación 3, caracterizado porque comprende adicionalmente una lámina de material encapsulante (5) dispuesta entre la lámina superior (6) y la capa de material luminiscente (3) o el recubrimiento de cristal fotónico (2), según corresponda.

5. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque presenta una pluralidad de células fotovoltaicas (1A,…1D) dispuestas sobre el sustrato (4), rodeando al menos parcialmente el recubrimiento de cristal fotónico (2) o la capa de material luminiscente (3), según corresponda.

6. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la al menos una célula fotovoltaica (1A,…1D) y el recubrimiento de cristal fotónico están dispuestos con sus cantos en contacto.

7. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el material luminiscente se selecciona del grupo formado por: materiales luminiscentes orgánicos, elementos y/o complejos que contienen elementos de tierras raras, puntos cuánticos, materiales plasmónicos y cualquier combinación de los anteriores.

8. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la al menos una célula fotovoltaica es de tipo Si, calcogenuros, kesteritas, células orgánicas, DSSC (Dye-Sensitized Solar Cells), perovskitas, células III-V o cualquier combinación de los anteriores.

9. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el cristal fotónico presenta una estructura compuesta por una pluralidad de capas de al menos dos materiales distintos dispuestas periódicamente en una dimensión (PC1D).

10. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los materiales del cristal fotónico se seleccionan del grupo formado por: nitruros, óxidos, metales, siliciuros, oxinitruros y carburos.

11. Dispositivo de concentración solar cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el cristal fotónico presenta entre 2 y 1000 capas, preferentemente entre 5 y 200 capas, más preferentemente entre 10 y 100 capas, y más preferentemente aún entre 15 y 30 capas.

12. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el espesor de cada capa de la estructura del cristal fotónico está comprendido en el intervalo entre 10 y 1000 nm.

14. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el cristal fotónico es tal que su pico de Bragg coincide con:

a) el pico de emisión del material luminiscente,

b) el pico de absorción del material luminiscente, o

c) la convolución del pico de absorción y el pico de emisión del material luminiscente.

15. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las células fotovoltaicas presentan una anchura (Wc) de entre 0,1 y 300 cm, preferentemente de entre 0,1 y 10 cm.

16. Dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las células fotovoltaicas presentan una longitud (Lc) de entre 0,1 y 1000 cm.

17. Panel fotovoltaico caracterizado porque comprende al menos un dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

18. Invernadero caracterizado porque comprende al menos un dispositivo de concentración solar según cualquiera de las reivindicaciones 1-16.

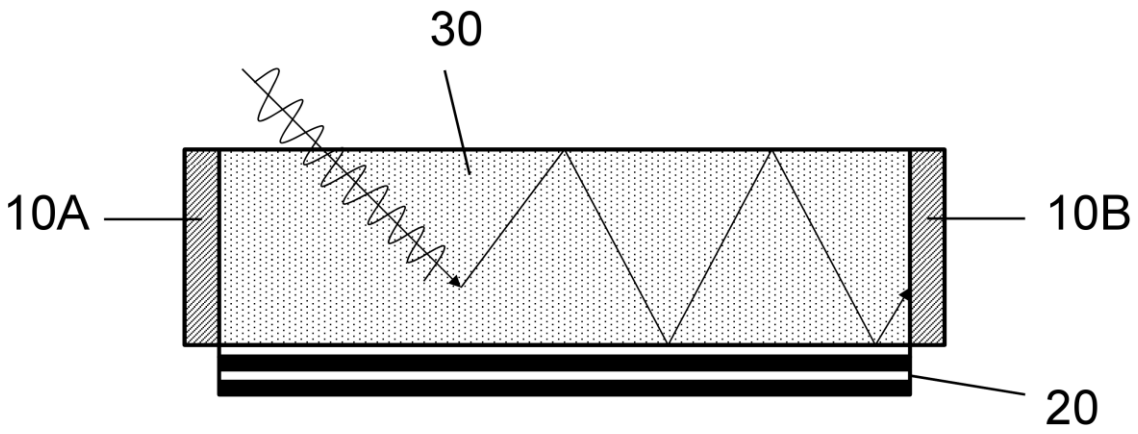

FIG. 1

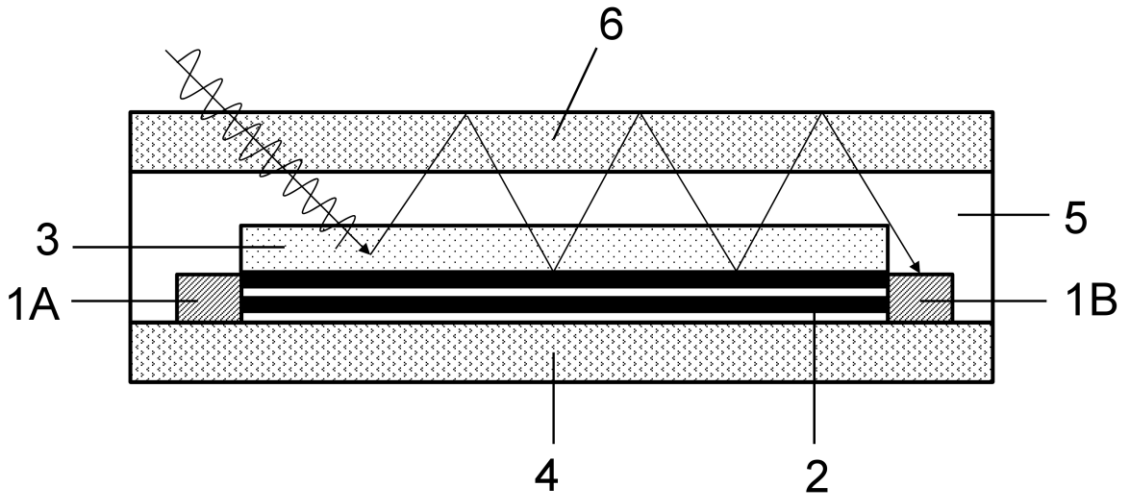

FIG. 2

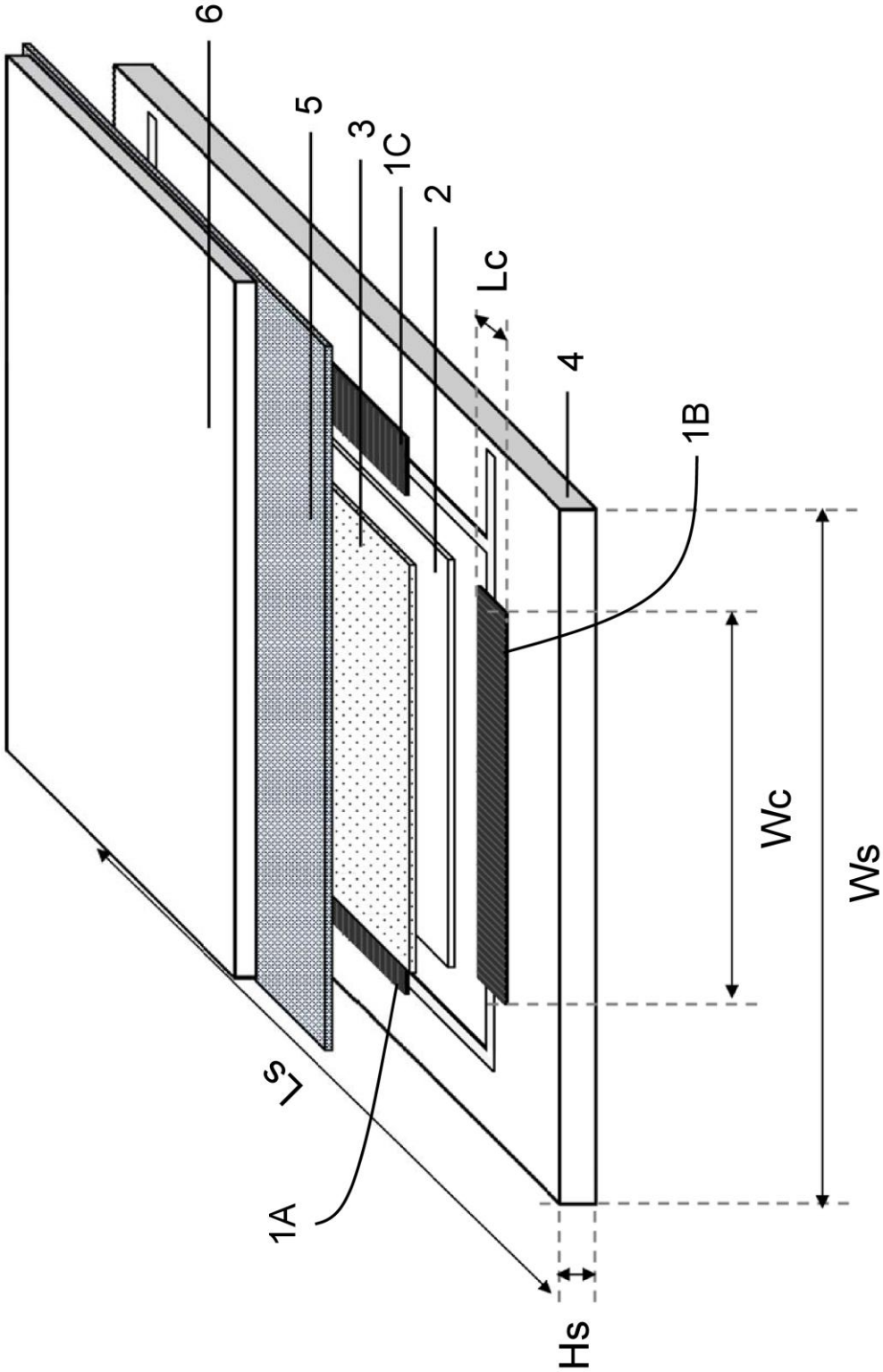

FIG. 3

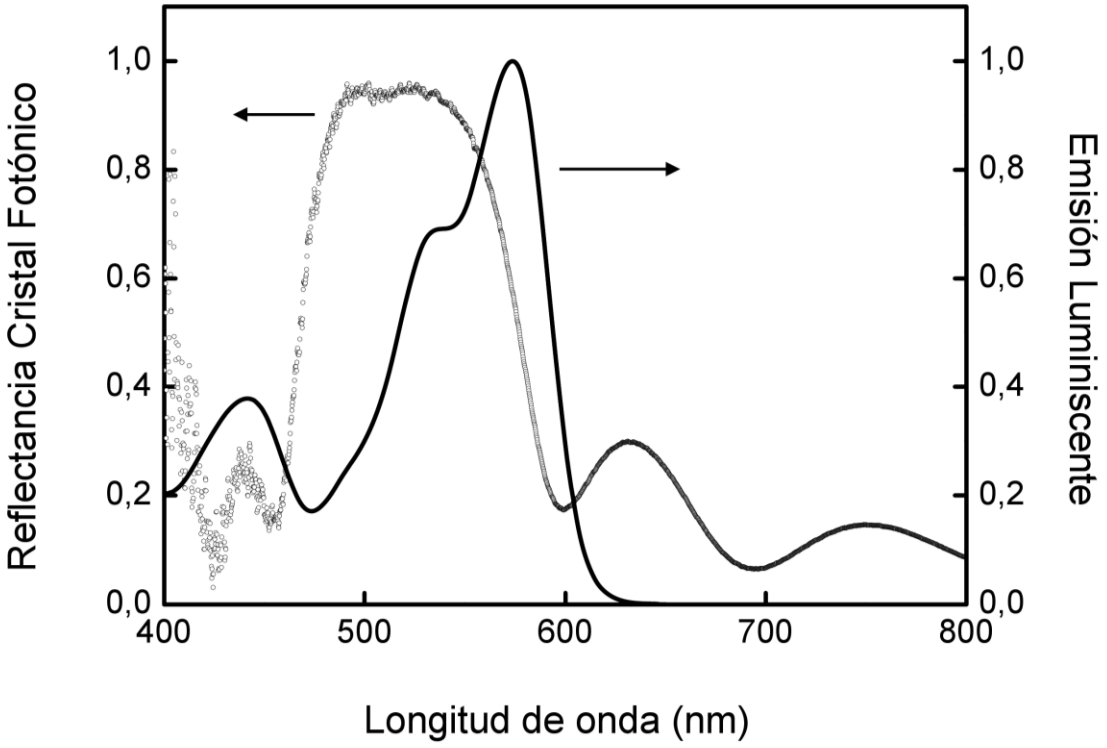
Reflectancia Cristal Fotónico
Emisión Luminiscente
Longitud de onda (nm)
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
400
500
600
700
800

FIG. 4

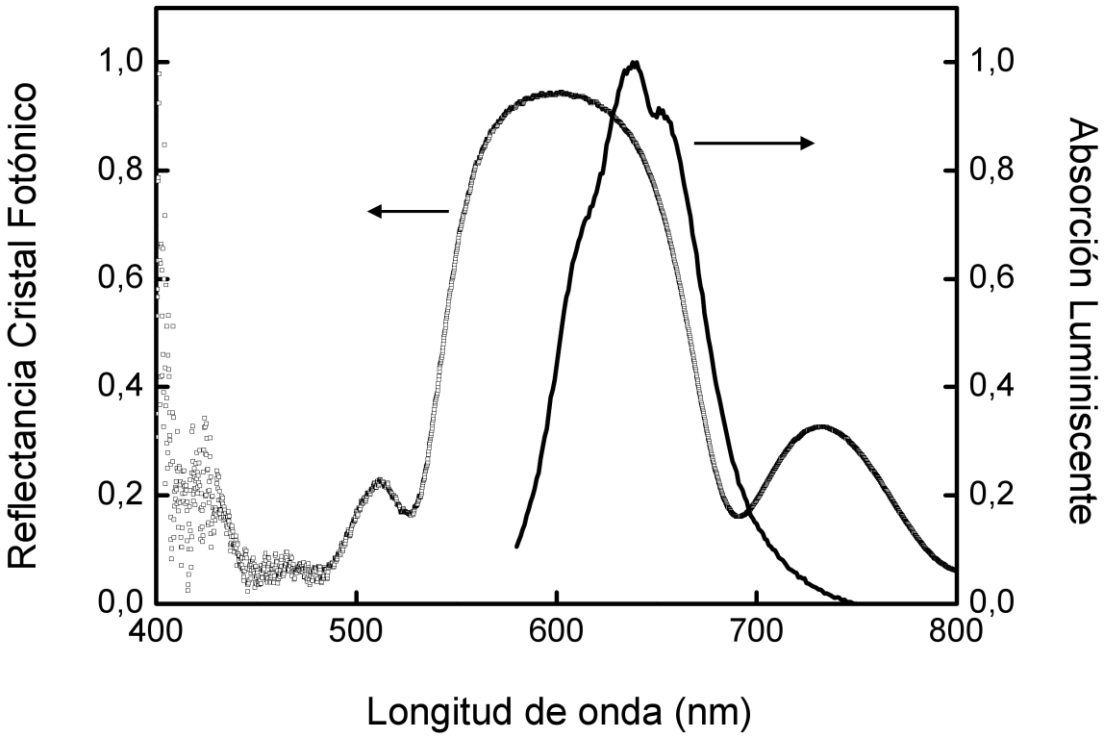
Reflectancia Cristal Fotónico
Absorción Luminiscente
Longitud de onda (nm)
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
400
500
600
700
800

FIG. 5

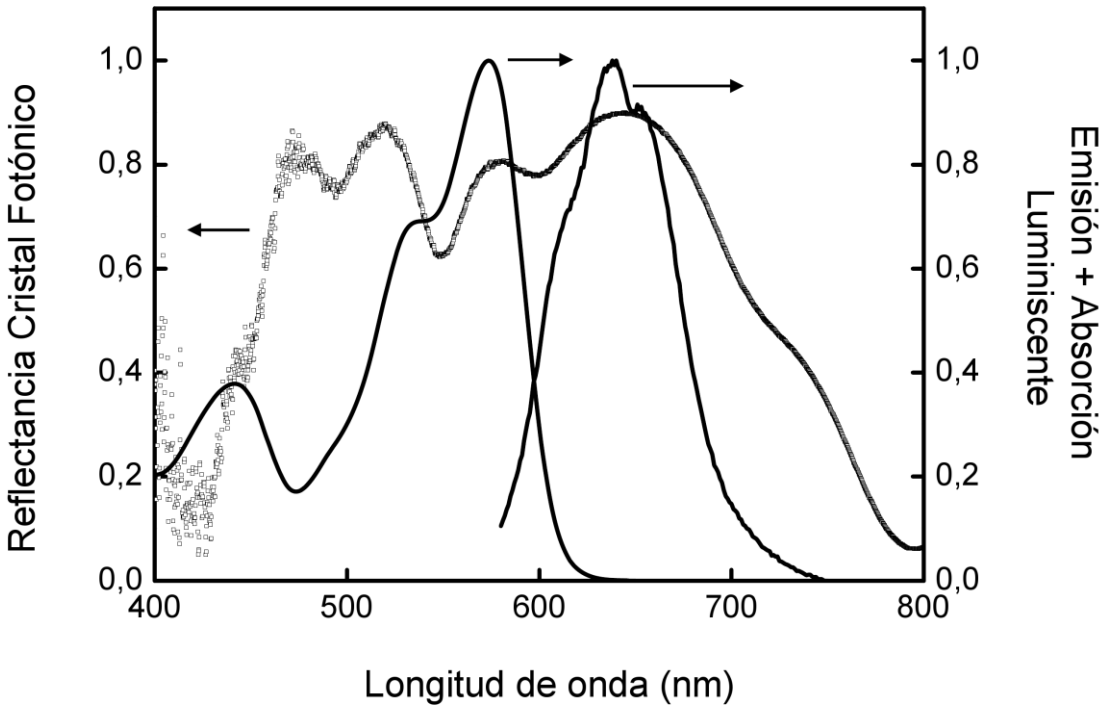
Reflectancia Cristal Fotónico
Emisión + Absorción Luminiscente
Longitud de onda (nm)
1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0,0
400
500
600
700
800

FIG. 6

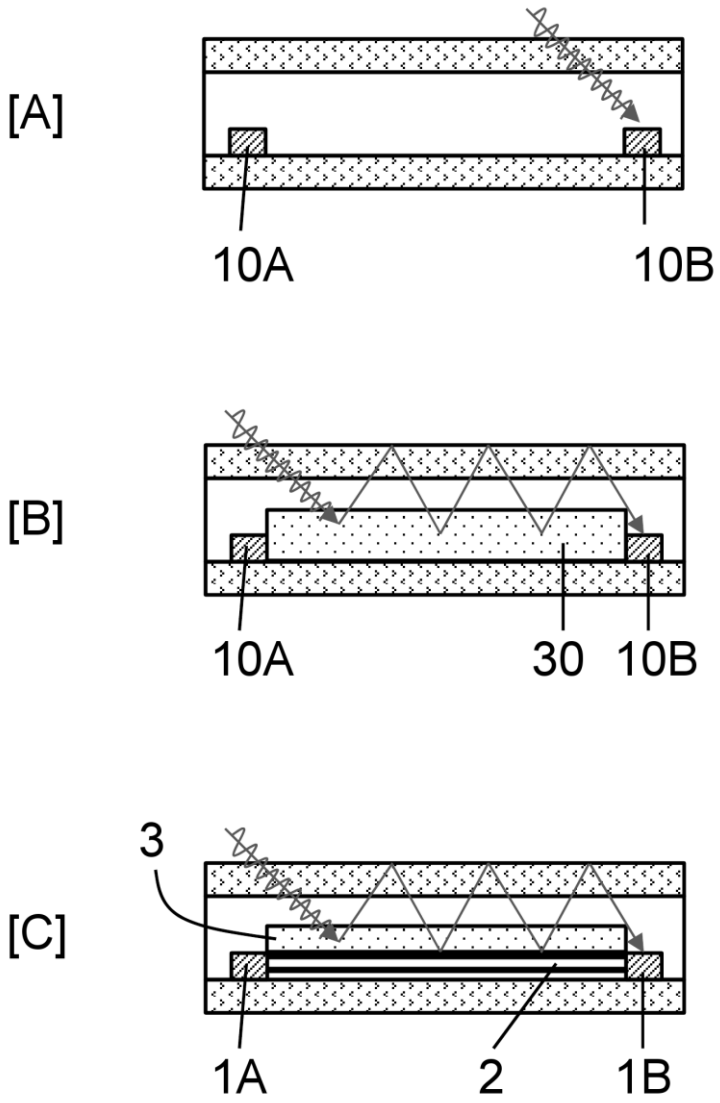

FIG. 7

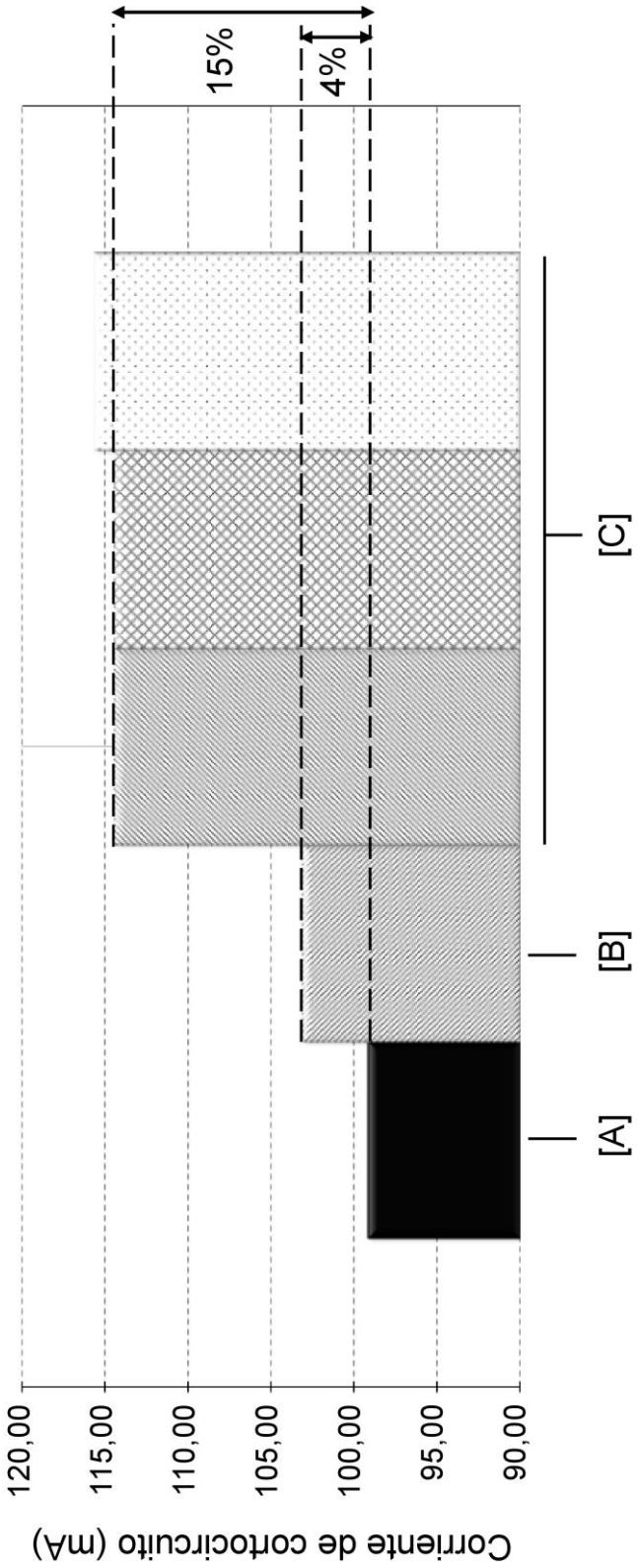
Corriente de cortocircuito (mA)
120,00
115,00
110,00
105,00
100,00
95,00
90,00
15%
4%
[A]
[B]
[C]

FIG. 8