

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la
Propiedad Intelectual
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional
WO 2012/175761 A1

(43) Fecha de publicación internacional
27 de diciembre de 2012 (27.12.2012) **WIPO | PCT**

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
H01L 31/0352 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2012/000133

(22) Fecha de presentación internacional:
10 de mayo de 2012 (10.05.2012)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P201100708 21 de junio de 2011 (21.06.2011) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID [ES/ES]; Calle Ramiro de Maeztu, 7, OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid, E-Madrid 28040 (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **ANTOLÍN FERNÁNDEZ, Elisa** [ES/ES]; Calle Ramiro de Maeztu, 7, OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid, E-28040 Madrid (ES). **MARTÍ VEGA, Antonio** [ES/ES]; Calle Ramiro de Maeztu, 7, OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid, E-28040 Madrid (ES). **LUQUE LÓPEZ, Antonio** [ES/ES]; Calle Ramiro de Maeztu, 7, OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid, E-28040 Madrid (ES). **RAMIRO GONZÁLEZ, Íñigo** [ES/ES]; Calle Ramiro de Maeztu, 7,

OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid, E-28040 Madrid (ES). **GARCÍA-LINARES FONTES, Pablo** [ES/ES]; Calle Ramiro de Maeztu, 7, OTRI - Vicerrectorado de Investigación, Universidad Politécnica de Madrid, E-28040 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

(54) Title: SOLAR CELL WITH AN INTERMEDIATE BAND COMPRISING NON-STRESSED QUANTUM DOTS

(54) Título : CÉLULA SOLAR DE BANDA INTERMEDIA CON PUNTOS CUÁNTICOS NO TENSIONADOS

(57) Abstract: The invention relates to a solar cell with an intermediate band, said intermediate band (3) consisting of a collection of quantum dots (12) of a semiconductor material A, that are immersed in a volume (13) of another semiconductor B. Material A is characterised in that it has a rock-salt-type crystalline structure while material B has a zinc blende structure. The quantum dots (12) are produced by the immiscibility of material A in material B. A combination of materials A and B with a very similar lattice constant can therefore be selected in such a way that the layer (3) of intermediate band material does not have an accumulation of mechanical stress.

(57) Resumen: Célula solar de banda intermedia con puntos cuánticos no tensionados El invento se refiere a una célula solar de banda intermedia cuyo material de banda intermedia (3) consiste en una colección de puntos cuánticos (12) de un material semiconductor A inmersos en un volumen (13) de otro semiconductor B. El material A se caracteriza por tener una estructura cristalina del tipo sal de roca, mientras que el material B tiene una estructura zinc blenda. Los puntos cuánticos (12) se producen por la inmiscibilidad del material A en el material B. Por lo tanto, es posible elegir una combinación de materiales A y B con una constante de red muy similar, de modo que la capa (3) de material de banda intermedia no presenta acumulación de tensión mecánica.



WO 2012/175761 A1

Célula solar de banda intermedia con puntos cuánticos no tensionados

SECTOR TÉCNICO

5

Tecnología energética (convertidores fotovoltaicos solares), tecnología aeroespacial (convertidores fotovoltaicos), ingeniería de telecomunicaciones y medicina (sensores de radiación), instrumentación de laboratorio (fotodetectores).

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

20

25

La célula solar de banda intermedia está descrita en la patente WO/2000/077829 (Célula solar fotovoltaica de semiconductor de banda intermedia). La Fig. 1 ilustra su diseño (1) y su diagrama de bandas simplificado en operación (2). El funcionamiento de las células solares de banda intermedia se basa en el uso de un *material de banda intermedia* (3). Éste se asemeja a un material semiconductor, pero se distingue en que incluye una banda electrónica (4) adicional a la banda de conducción (5) y de valencia (6). La banda (4) se denomina *banda intermedia* y está situada dentro de lo que sería la banda prohibida (en adelante, *gap*) en un semiconductor convencional. Como se detalla en la Patente WO/2000/077829, para completar el dispositivo se coloca el material de banda intermedia (3) entre dos capas de semiconductor convencionales, una de tipo *n* (7) y otra de tipo *p* (8), denominadas comúnmente *emisores*.

30

La célula solar de banda intermedia tiene unas prestaciones superiores a las de las células solares convencionales de un solo *gap* ya que, gracias a la banda intermedia, es posible absorber fotones de energía inferior a la del *gap* del semiconductor. La absorción adicional (Fig. 1) se realizaría mediante la absorción de fotones que, como (9), provocan transiciones de la banda de valencia (6) a la banda intermedia (4) y de fotones que, como (10), provocan

transiciones de la banda intermedia (4) a la de conducción (5). Esta absorción se suma a la convencional, por la que fotones como (11) provocan transiciones de la banda de valencia (6) a la de conducción (5). En la célula solar de banda intermedia, esta absorción adicional se traduce en una mayor corriente eléctrica sin pérdida significativa de tensión y, por ende, en una mayor eficiencia.

Por lo tanto, existen al menos dos requerimientos básicos para el material de banda intermedia (3): (i) tiene que tener una absorción notable en las transiciones (9) y (10) para producir un incremento importante de la fotocorriente; (ii) no debe presentar una excesiva recombinación no radiativa para que el voltaje de salida no se vea degradado.

Las materiales de banda intermedia que se han propuesto hasta el momento se pueden englobar en dos grupos: aquellos en las que los niveles energéticos que dan lugar a la banda intermedia se generan introduciendo impurezas atómicas en un semiconductor y aquellos en los que se utilizan para tal fin los niveles confinados generados por puntos cuánticos. Al primer tipo pertenecen por ejemplo los materiales y dispositivos descritos en WO/2005/055285 (Multiband semiconductor compositions for photovoltaic devices) y P200900461 (Método para la fabricación de una célula solar de silicio de banda intermedia). Para que este tipo de implementación con impurezas atómicas no sufra una excesiva recombinación no radiativa, se ha propuesto el método patentado en ES2276624 (Método para la supresión de la recombinación no radiativa en materiales dopados con centros profundos). Por el contrario, la implementación con puntos cuánticos no presenta en teoría el problema de la recombinación no radiativa de forma inherente, porque los puntos cuánticos no poseen los mismos modos de vibración que las impurezas y por lo tanto se pueden comportar de manera eminentemente radiativa. Ahora bien, los materiales de punto cuántico utilizados hasta el momento no presentan las propiedades requeridas para esta aplicación por las razones que se detallarán más adelante.

- La Fig. 2 ilustra el funcionamiento de una célula solar de banda intermedia basada en el uso de puntos cuánticos. Los puntos cuánticos son estructuras tridimensionales de dimensiones nanométricas (12) de un material semiconductor de gap pequeño embebidas en una matriz de otro semiconductor de gap mayor (13), generalmente llamado *material barrera*. Por su reducido tamaño, los puntos cuánticos generan unos pozos de potencial (14) que introducen niveles energéticos discretos (niveles confinados) dentro del gap del material matriz. Estos niveles actúan como banda intermedia (4).
- Los sistemas de material de punto cuántico utilizados hasta el momento para la fabricación de células de banda intermedia (generalmente InAs en el punto cuántico y GaAs para la barrera, éste último en algunos casos con adición de P o N) se producen por el método Stranski-Krastanov. Esto quiere decir que los dos materiales utilizados tienen un parámetro de red atómica diferente y que al depositar epitaxialmente uno sobre el otro se genera tensión entre ambos. Los puntos se producen de forma espontánea para relajar esa tensión. Pero la tensión afecta al diagrama de bandas de la estructura. Esto está ilustrado en la Fig. 3. En el diagrama de bandas (15) se representan dos materiales considerados independientemente, uno de gap grande (18) y otro de gap pequeño (21). (5) y (6) son respectivamente las bandas de conducción y valencia del primer material; (19) y (20) las del segundo. En (16) se puede ver el diagrama de bandas resultante si se fabrica un punto cuántico con estos dos materiales y existe tensión por ser diferentes sus constantes de red. Por efecto de la tensión, el gap del material del punto se ensancha (22). Además, el punto se deforma (deja de tener una relación de aspecto cercana a 1), se pierde confinamiento en algunas direcciones, y se generan muchos estados confinados para huecos (23) y para electrones (24). Esta situación tiene varias consecuencias nocivas para el funcionamiento de la célula de banda intermedia, entre ellas: la banda intermedia (4) está demasiado cerca de la banda de conducción (5), de modo que la transición óptica [(10) en Fig. 1] tiene una energía demasiado pequeña para contribuir a una explotación eficiente del espectro solar; el escape/recombinación entre la banda intermedia (4) y la de

conducción (5) es demasiado rápido a temperatura ambiente, lo que impide la preservación de un alto voltaje en el dispositivo. A esto hay que sumarle el hecho de que no se pueden crecer muchas capas de puntos cuánticos porque la tensión se va acumulando y aparecen defectos cristalinos que actúan como promotores de la recombinación no radiativa. Por lo tanto, la absorción de fotones en las transiciones (9) y (10) está muy limitada. Por todas estas razones y en base a las pruebas experimentales actuales, se sabe que las células de banda intermedia fabricadas con puntos cuánticos de InAs/GaAs se comportan según el modelo de célula de banda intermedia a bajas temperaturas, pero no a temperatura ambiente.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La invención se refiere a una célula solar de banda intermedia utilizando otro tipo de puntos cuánticos donde el material de punto y el material barrera tienen un parámetro de red atómica muy similar. En la Fig. 3, (17) representa el diagrama de bandas de un punto cuántico de materiales ajustados en red suponiendo de nuevo que los materiales utilizados tienen los gaps que aparecen en (15). En este caso el gap del material de punto no se ve alterado notablemente (21). Además, los puntos pueden ser pequeños y esféricos, por lo que se puede minimizar el número de estados confinados (23) y (24). El resultado es que aparece un nivel confinado fundamental (25) bien separado de los otros estados confinados (23) y de las bandas de conducción (5) y valencia (6). Los niveles (25) del conjunto de puntos cuánticos pueden ser utilizados de forma eficiente como banda intermedia. Conjunto de puntos que, por otra parte, puede ser mucho mayor (mayor absorción óptica) porque al no acumularse tensión la calidad cristalina no se ve comprometida. Si el alineamiento de bandas entre semiconductor de punto y de barrera es diferente, se podría utilizar un estado confinado de huecos (24) para generar la banda intermedia.

No se puede producir puntos cuánticos auto-ensamblados en el modo Stranski-Krastanov cuando los semiconductores están ajustados en red. Para fabricar un material de puntos de este tipo proponemos el uso de semiconductores que, aun teniendo el mismo parámetro de red, no tengan la misma estructura cristalina. En particular se propone utilizar para los puntos cuánticos un compuesto o aleación semiconductora de estructura cristalina de tipo halita o sal de roca (cúbica hexortahédrica) y para el material barrera un compuesto o aleación semiconductora de estructura cristalina de tipo zinc blenda (cúbica hextetrahédrica). Al primer grupo pertenecen los semiconductores del grupo IV-VI PbS, PbSe y PbTe (en ellos el Pb podría ser parcialmente sustituido por Sn). Al segundo los compuestos y aleaciones de la familia II-VI (Zn,Cd,Mg)(S,Se,Te) en sus cristalizaciones de estructura zinc blenda (el catión podría ser parcialmente sustituido por Mn, Be ó Ca). Dependiendo de los elementos que se elijan, se deberá encontrar las estequiometrías adecuadas en el compuesto del punto cuántico y el compuesto del material barrera para que tengan un parámetro de red muy similar y para optimizar la energía de las transiciones (9), (10) y (11) [Figs. 1 y 2]. Para que la absorción de fotones sea eficiente tanto en la transición (9) como en la (10), generalmente será necesario dopar los puntos cuánticos para que estén semi-llenos de electrones (introduciendo la especie dopante propiamente en los puntos o en el material barrera). Si fuera ventajoso, se podrán producir puntos de distintos tamaños dentro del mismo dispositivo para generar transiciones de múltiples energías.

En este método los puntos cuánticos se producen por la inmiscibilidad del semiconductor IV-VI de estructura sal de roca en la matriz de semiconductor II-VI de estructura zinc blenda. Esto hace que si crecen capas de un material alternadas con capas del otro, las capas del material IV-VI se transformen espontáneamente en puntos cuánticos, generalmente centrosimétricos, para minimizar la energía superficial. Se puede provocar la precipitación de los puntos cuánticos aplicando un recocido sobre la estructura de capas alternas, o bien, estos se pueden auto-ensamblar durante el crecimiento de las capas bajo las condiciones adecuadas de presión de los elementos y temperatura. Otra

forma de generar estos puntos cuánticos por desajuste en el tipo de red es introducir el elemento IV, p. ej. Pb, en el semiconductor matriz mediante implantación iónica y luego someter el material a un recocido.

5 La Fig. 4 representa la estructura de una célula solar de banda intermedia fabricada por el método propuesto. (27) es el sustrato, es decir, la oblea semiconductora sobre la que se crece epitaxialmente la célula solar. (26) es la capa de acoplamiento (*buffer*), es decir, la primera capa crecida epitaxialmente, que absorbe los defectos y tensiones de la interfaz y sirve para adaptar
10 gradualmente el parámetro de red al del material que se va a usar en el dispositivo. Los materiales II-VI zinc blenda presentan la ventaja de que se pueden crecer con ellos dispositivos de excelente calidad cristalina utilizando sustratos con un parámetro de red muy alejado si se utiliza una capa de acoplamiento adecuada. (7) es el primer emisor a crecer, el cual puede ser del
15 material elegido como barrera o de otro (en general, de gap igual o mayor, pues de lo contrario limitaría el voltaje del dispositivo). Lo mismo se puede aplicar al emisor frontal (8). En principio, es igual de válido poner el emisor n en la posición frontal y el p en la posterior, o lo contrario. Esta decisión se tomará según sea más ventajoso para la dinámica de portadores en el dispositivo y
20 teniendo en cuenta la facilidad de fabricación. Por otro lado, los emisores se pueden completar con una capa de alto dopaje o mayor gap para minimizar la velocidad de recombinación superficial, como se hace en las células solares convencionales (capa denominada *ventana* en el caso de del emisor frontal, o de *campo superficial trasero* – BSF – para el emisor posterior).

25

Siguiendo con la Fig. 4, (3) representa el material de banda intermedia, que en esta invención contiene los puntos cuánticos (12) de material IV-VI en la matriz zinc blenda de material II-VI (13) con el nivel de dopaje adecuado para semi-llenar los puntos. También se pueden incluir capas de bajo dopaje (no
30 representadas en la figura) entre alguno de los emisores, o los dos, y el material de puntos cuánticos, para evitar que los puntos cuánticos estén situados dentro de la zona de carga del espacio del dispositivo. Por último, para

extraer la potencia eléctrica generada por la célula será necesario depositar un contacto metálico frontal (28) y otro posterior (29).

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

5

Fig. 1: (1) Estructura de capas de una célula solar de banda intermedia y, (2) diagrama de bandas correspondiente a la estructura dibujada en (1) cuando el dispositivo se encuentra en operación.

10 Fig. 2: (1) Estructura de capas de una célula solar de banda intermedia implementada con puntos cuánticos (12) y, (2) diagrama de bandas correspondiente a la estructura dibujada en (1) cuando el dispositivo se encuentra en operación.

15 Fig. 3: Diagramas de bandas simplificados de: (15) dos materiales, uno de gap (18) y otro de gap (21), considerados de forma independiente; (16) de un punto cuántico del material de gap (21) en el material de gap (18) teniendo en cuenta efectos de tensión; (17) de un punto cuántico del material de gap (21) en el material de gap (18) sin efectos de tensión.

20

Fig. 4: Estructura de capas de una célula solar de banda intermedia y puntos cuánticos fabricada según el método descrito en esta patente. La estructura incluye, además de las capas fundamentales dibujadas en la Fig. 2 (1), otros elementos necesarios para completar el dispositivo, como son el sustrato (27), la capa de acoplamiento (26), y los contactos anterior (28) y posterior (29).

25

Fig. 5: Posible proceso de producción de la estructura de capas de la célula solar de banda intermedia y puntos cuánticos fabricada según el método descrito en esta patente. (30) representa un primer paso, que consiste en el crecimiento epitaxial de una estructura semiconductor combinando varios materiales en capas alternas [(32) y (33)], y (31) representa la precipitación de

30

los puntos cuánticos (12) dentro del volumen de material barrera (13) tras un proceso de recocido.

DESCRIPCIÓN DE UNA REALIZACIÓN PREFERIDA

5

En esta sección se va a describir como caso particular la fabricación de una célula solar de banda intermedia utilizando puntos cuánticos de PbTe en una matriz de $\text{Cd}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Te}$, aunque como se ha comentado en la sección anterior, el abanico de materiales que se puede utilizar es muy amplio. El sistema PbTe/
10 $\text{Cd}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Te}$ cumple las condiciones: los dos materiales son inmiscibles debido a la distinta estructura cristalina, tienen la misma constante de red, y los gaps son adecuados para producir una célula de banda intermedia. En este caso se elige un diseño en el que el emisor frontal es de tipo n, porque el Cd(Mg)Te es difícil de dopar tipo p, y por lo tanto resultaría en un emisor demasiado resistivo
15 para la extracción de corriente por la malla metálica frontal. Alternativamente, se podría hacer una estructura de tipo p-sobre-n añadiendo ZnTe a la composición del emisor frontal para facilitar su dopaje tipo p.

La Fig. 5 ilustra lo más relevante del método de fabricación. A ser posible el
20 crecimiento epitaxial de la estructura semiconductor se hará en un reactor de haces moleculares (MBE) con dos cámaras independientes.

1. Se utiliza como sustrato una oblea de Si, GaAs o Ge. Se desgasifica, limpia y prepara su superficie con ataque de plasma en una cámara que no es la que
25 se usa para crecer los materiales II-VI y IV-VI. El sustrato es de tipo p y está altamente dopado (aprox. $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$).

2. Se traspasa el sustrato a la segunda cámara del reactor MBE, donde se crece una capa de acoplamiento con una aleación (Cd,Mg)Te de 500 nm de
30 espesor. Se dopa con N para alcanzar la concentración tipo p más alta posible ($> 2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$).

3. Se crece el emisor tipo p de $\text{Cd}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Te:N}$ con un dopaje de $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ y un espesor de 500 nm.

5 4. Se crece un apilamiento de 200 repeticiones de capas alternas de PbTe de 1 nm [Fig. 5 (33)] y $\text{Cd}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Te}$ de 10 nm [Fig. 5 (32)] a una temperatura inferior a 300°C . En el crecimiento de las capas de $\text{Cd}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Te}$ se introduce I de forma digital (una capa de delta-doping de I por capa de material).

10 5. Se crece el emisor tipo n de $\text{Cd}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Te:I}$ con un dopaje de $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y un espesor de 500 nm.

15 6. (Ver Fig. 5) La estructura crecida (30) se recuece a una temperatura entre 350 y 450°C para producir (31) la precipitación de los puntos cuánticos (12) de PbTe en la matriz (13) de $\text{Cd}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{Te}$.

7. Se depositan por evaporación capas de oro para formar el contacto metálico posterior y frontal. Para depositar el contacto frontal en forma de malla que deje pasar la luz se utilizan técnicas de fotolitografía.

20 APLICACIÓN INDUSTRIAL

La aplicación industrial de la invención comprende todos los usos propios de los dispositivos fotovoltaicos como generadores de energía eléctrica a partir de la radiación solar, a saber:

25

- Fabricación de conversores fotovoltaicos para la industria aeroespacial. Es común que los satélites utilicen paneles fotovoltaicos para su autoabastecimiento energético. El dispositivo que se patenta sería especialmente útil en esta aplicación porque, al tener una mayor eficiencia que las células convencionales, requeriría menos área de panel, y por lo tanto
- 30 menos peso en lanzamiento, para proporcionar la misma potencia eléctrica.

- Fabricación de conversores fotovoltaicos para utilizar en sistemas terrestres de concentración. Los sistemas de concentración utilizan lentes o espejos para enfocar la luz solar en una célula fotovoltaica de área reducida. Para que estos sistemas resulten rentables, se necesita que la célula tenga una eficiencia de conversión mínima que justifique la implementación de los componentes ópticos de concentración. Por otro lado, si se dispone de una tecnología de células solares de alta eficiencia, su explotación será en general más rentable si se implementan sistemas de concentración (porque se maximiza la potencia que generan las células y porque se minimiza el área de célula utilizada). La célula solar que se patenta, como célula de alta eficiencia que es, resulta apropiada para su uso en sistemas de concentración. Por sus particularidades técnicas, estos sistemas son adecuados para la generación masiva de electricidad (plantas fotovoltaicas) y no para la generación distribuida en localizaciones no optimizadas (p. ej. en integración arquitectónica).

- Fabricación de conversores fotovoltaicos para utilizar en sistemas terrestres planos (sin concentración). Ésta es actualmente la aplicación industrial más extendida de las células solares, de uso tanto en centrales como de forma distribuida. Como sistemas generadores de electricidad, los paneles planos son más conocidos y su industria está más asentada que la de los sistemas de concentración. Ahora bien, el área de dispositivo fotovoltaico que se requiere para generar la misma potencia eléctrica es mayor, y por lo tanto, no todas las tecnologías de dispositivo fotovoltaico tienen un coste competitivo cuando se implementan en paneles planos. La célula solar que se patenta es adecuada para su uso en sistemas fotovoltaicos planos, si bien es posible que sea necesario introducir modificaciones en el método preferente de fabricación para abaratar costes en la producción de grandes áreas de dispositivo. En este sentido, un elemento crítico es el sustrato. Para fabricar células destinadas a uso en panel plano sería probablemente necesario adaptar el método de fabricación expuesto a una fabricación de tipo película delgada (un crecimiento no epitaxial sobre un sustrato más barato, p. ej. vidrio, latón, acero, plástico,

etc) o bien, mantener el crecimiento epitaxial sobre sustrato semiconductor, pero incluyendo al método descrito un último paso de reciclaje del sustrato y sustitución por uno de vidrio.

- 5 Aunque la aplicación más relevante de los dispositivos fotovoltaicos es la producción de electricidad a partir de la energía solar, existen otras aplicaciones en las que se convierte radiación de origen no solar, para las cuales el dispositivo que se patentará también sería apropiado. Ejemplos de estas aplicaciones son la cogeneración eléctrica (aprovechamiento de la
- 10 radiación infrarroja de elementos industriales muy calientes para producir electricidad) o detectores de radiación de uso en telecomunicaciones y aplicaciones médicas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Célula solar de banda intermedia en la que el material de banda intermedia (3) es un material de puntos cuánticos, donde el material que compone los puntos cuánticos (12) es un compuesto o aleación semiconductor de estructura cristalina de tipo halita o sal de roca y el material barrera (13) que contiene esos puntos cuánticos es un compuesto o aleación semiconductor de estructura cristalina de tipo zinc blenda, **caracterizado por que** el material de punto (12) y el material barrera (13) son materiales ajustados en red para evitar la acumulación de tensión mecánica en el material de banda intermedia (3).
- 15 2. Célula solar de banda intermedia según la reivindicación 1 en la que el material que compone los puntos cuánticos es un compuesto o aleación semiconductor que contiene como catión uno o una combinación de los elementos del grupo IV de la tabla periódica Pb y Sn, y como anión uno o una combinación de los elementos del grupo VI de la tabla periódica S, Se y Te, y el material barrera que alberga los puntos cuánticos es un compuesto o aleación semiconductor que contiene como catión uno o una combinación de los elementos Zn, Cd, Mg, Mn, Be, Ca, y como anión uno o una combinación de los elementos del grupo VI de la tabla periódica S, Se y Te.
- 20 3. Célula solar de banda intermedia según las reivindicaciones 1 a 2, en la que los niveles confinados en los puntos cuánticos para electrones o para huecos se utilizan como banda intermedia.
- 25 4. Célula solar de banda intermedia según las reivindicaciones 1 a 3, que contiene puntos cuánticos de distintos tamaños dentro del dispositivo para generar transiciones ópticas de múltiples energías.
- 30 5. Célula solar de banda intermedia según las reivindicaciones 1 a 4, en la que los emisores son del mismo material semiconductor que se utiliza como material barrera de los puntos cuánticos, o de otro semiconductor

(igual o diferente entre los dos emisores) con banda prohibida (gap) igual o mayor que la del material barrera.

- 5 6. Célula solar de banda intermedia según las reivindicaciones 1 a 5, en la que el emisor frontal es de tipo p y el trasero de tipo n, o viceversa, y en el que uno de los emisores o los dos incluyen una capa de dopaje más alto o mayor gap para disminuir su velocidad de recombinación superficial.
- 10 7. Célula solar de banda intermedia según las reivindicaciones 1 a 6, que contiene capas de bajo dopaje entre alguno de los emisores, o los dos, y el material de puntos cuánticos, para evitar que los puntos cuánticos estén situados dentro de la zona de carga del espacio del dispositivo.
- 15 8. Método para la fabricación de una célula solar de banda intermedia descrita en las reivindicaciones 1 a 7, en el que la formación de los puntos cuánticos se produce por auto-ensamblaje durante el crecimiento epitaxial de la estructura de capas semiconductoras sobre un sustrato semiconductor, o a raíz de un recocido tras crecer epitaxialmente capas alternas de los dos materiales que acabarán formando el punto cuántico y la barrera, o a raíz de un recocido tras implantar iones del primer material en el segundo.
- 20 9. Método para la fabricación de una célula solar de banda intermedia según la reivindicación 8, en el que se sustituye el sustrato semiconductor por un sustrato de bajo coste (vidrio, latón, acero, plástico), bien porque se adapta la técnica de crecimiento para crecer la estructura de capas sobre el nuevo sustrato, o bien porque se separa por métodos físicos o químicos el sustrato semiconductor del dispositivo
- 25 después de crecerlo.

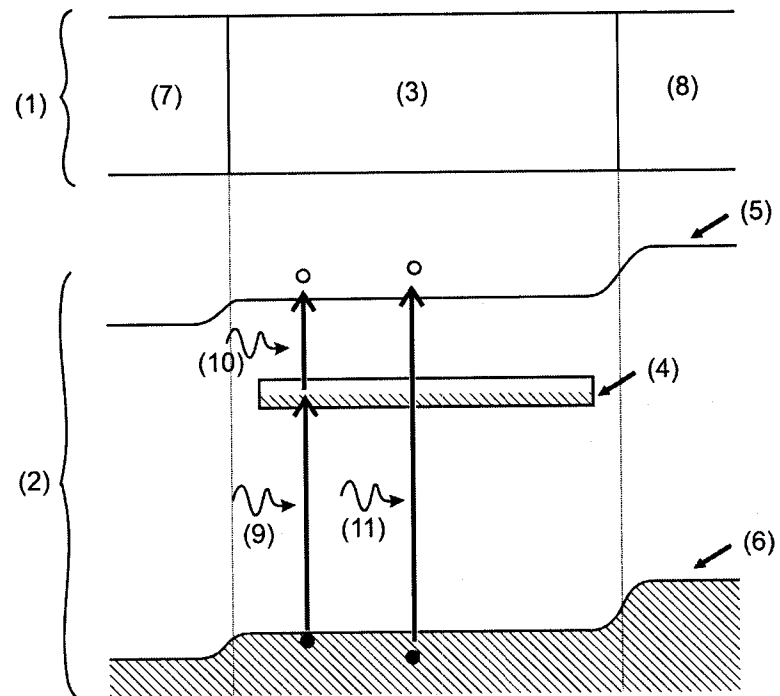


Fig. 1

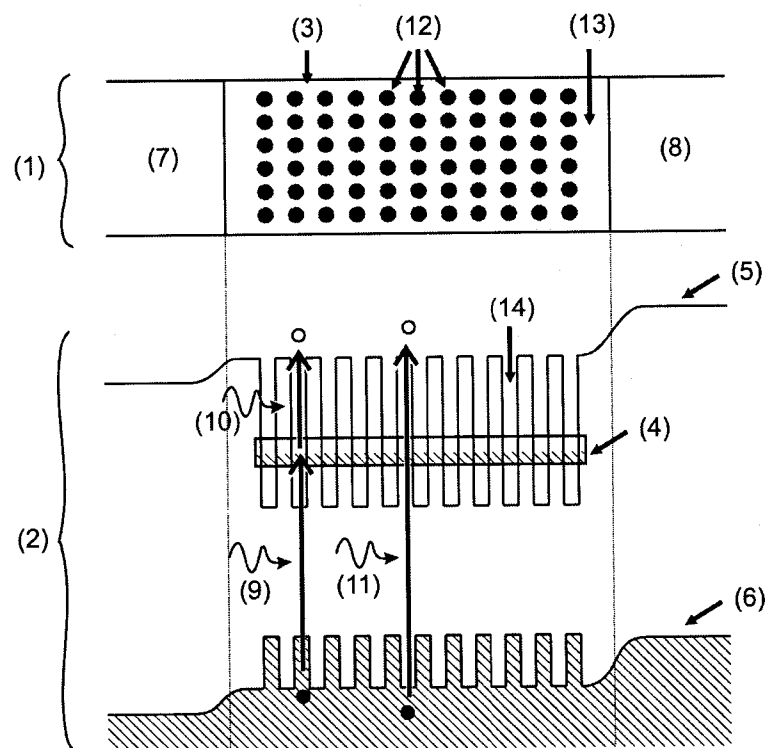


Fig. 2

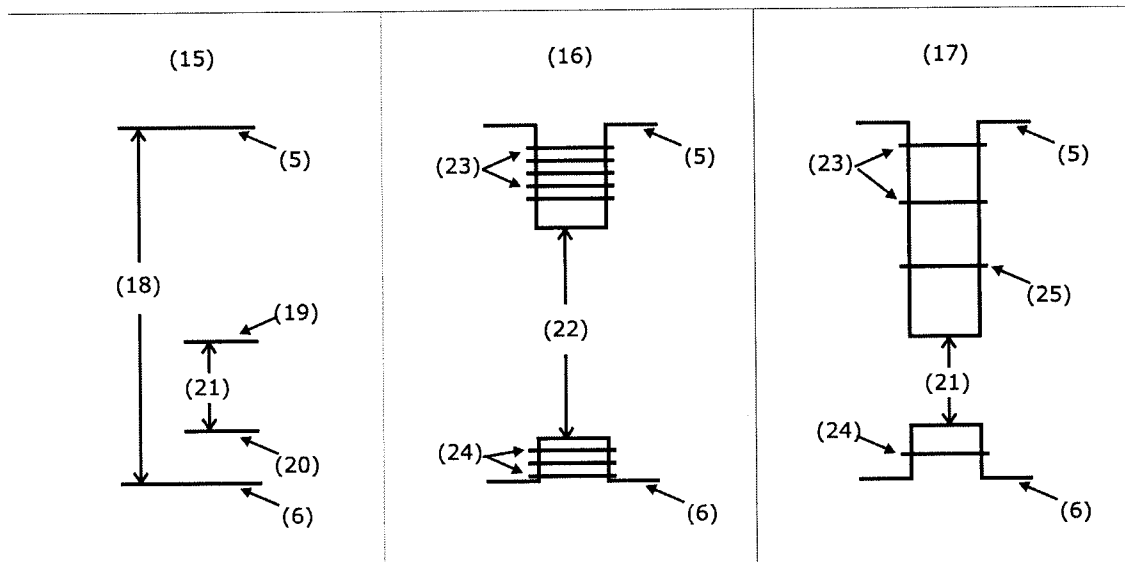


Fig. 3

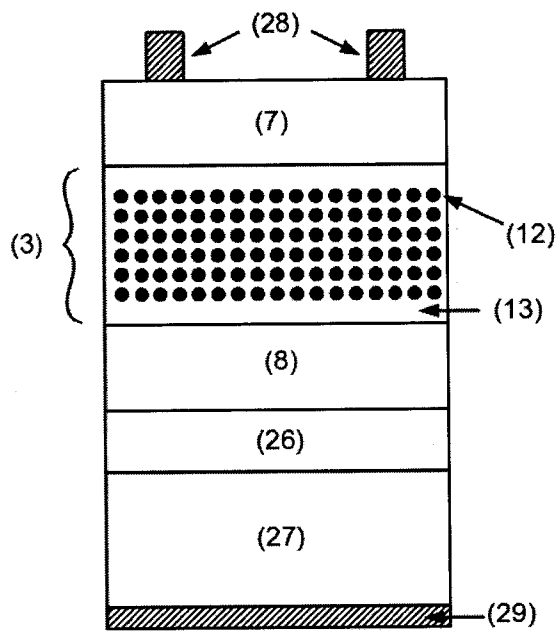


Fig. 4

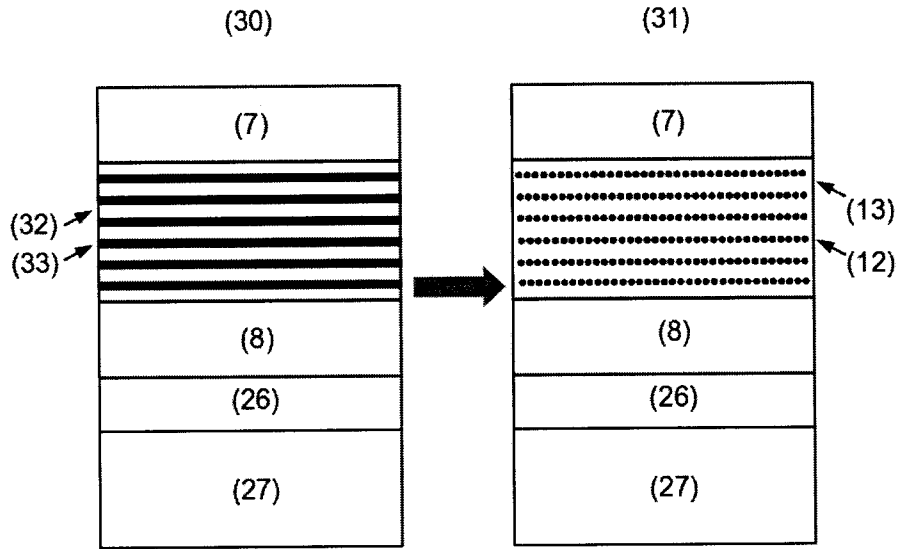


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2012/000133

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L31/0352 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, XPESP, NPL, HCAPLUS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DASGUPTA, N.P., et al., Atomic Layer Deposition of PbS-ZnS quantum wells for high-efficiency solar cells, Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2009 34th IEEE, págs. 356-360. The whole the document.	1-9
A	WO 2009140196 A2 (UNIV VILLANOVA) 29.11.2009, the whole document.	1-9
A	WO 2007120229 (UNIV PRINCETON) 25.10.2007, the whole document.	1-9
A	WO 2009142677 A2 (UNIV LELAND STANFORD JUNIOR) 26.11.2009, the whole document.	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18/07/2012

Date of mailing of the international search report
(16/08/2012)

Name and mailing address of the ISA/

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Authorized officer
M. García Poza

Telephone No. 91 3495568

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2012/000133

C (continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	NOUFI, R., et al., Polycrystalline thin-film multijunction solar cells, 2005 DOE Solar Energy Technologies Program Review Meeting, [on line], November 2005, Denver, Colorado, [retrieved the 04.11.2011]. Págs.1,2. Retrieved from Internet:<URL http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39002.pdf >. the whole document.	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

Information on patent family members

PCT/ES2012/000133

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO2009140196 A	19.11.2009	EP2277192 A EP20090747280 CN102089856 A US2011155207 A	26.01.2011 11.05.2009 08.06.2011 30.06.2011
----- WO2007120229 A	----- 25.10.2007	----- US2007137693 A US2007151592 A US7750425 B AR057251 A KR20080085166 A EP1974393 A EP20060850571 CN101375407 A CN101375407 B JP2009520357 A	----- 21.06.2007 05.07.2007 06.07.2010 21.11.2007 23.09.2008 01.10.2008 07.12.2006 25.02.2009 25.08.2010 21.05.2009
----- WO2009142677 A	----- 26.11.2009	----- US2009255580 A	----- 15.10.2009
-----	-----	-----	-----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2012/000133

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

H01L31/0352 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01L

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, INVENES, WPI, XPESP, NPL, HCAPLUS

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	DASGUPTA, N.P., et al., Atomic Layer Deposition of PbS-ZnS quantum wells for high-efficiency solar cells, Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2009 34th IEEE, págs. 356-360. Todo el documento.	1-9
A	WO 2009140196 A2 (UNIV VILLANOVA) 29.11.2009, todo el documento.	1-9
A	WO 2007120229 (UNIV PRINCETON) 25.10.2007, todo el documento.	1-9
A	WO 2009142677 A2 (UNIV LELAND STANFORD JUNIOR) 26.11.2009, todo el documento.	1-9

☒ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos ☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.	
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
03/08/2012

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
16-AGOSTO-2012 (16/08/2012)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
M. García Poza
Nº de teléfono 91 3495568

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional n°

PCT/ES2012/000133

C (Continuación). DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES		
Categoría *	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones n°
A	NOUFI, R., et al., Polycrystalline thin-film multijunction solar cells, 2005 DOE Solar Energy Technologies Program Review Meeting, [en línea], noviembre 2005, Denver, Colorado, [recuperado el 04.11.2011]. Págs.1,2. Recuperado de Internet:<URL http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39002.pdf>. Todo el documento.	1-9

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ES2012/000133

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
WO2009140196 A	19.11.2009	EP2277192 A	26.01.2011
		EP20090747280	11.05.2009
		CN102089856 A	08.06.2011
		US2011155207 A	30.06.2011
-----	-----	-----	-----
WO2007120229 A	25.10.2007	US2007137693 A	21.06.2007
		US2007151592 A	05.07.2007
		US7750425 B	06.07.2010
		AR057251 A	21.11.2007
		KR20080085166 A	23.09.2008
		EP1974393 A	01.10.2008
		EP20060850571	07.12.2006
		CN101375407 A	25.02.2009
		CN101375407 B	25.08.2010
		JP2009520357 A	21.05.2009
-----	-----	-----	-----
WO2009142677 A	26.11.2009	US2009255580 A	15.10.2009
-----	-----	-----	-----