

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



T3

1 Número de publicación: **2 563 045**

51 Int. CI.:	
H01L 31/0216	(2014.01)
H01L 31/0304	(2006.01)
H01L 31/0687	(2012.01)
H01L 31/056	(2014.01)

(12)	TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA			
96) Fecha de presentación y núme	ro de la solicitud europea:	23.12.2005	E 10182110 (6)	
(97) Fecha y número de publicaciór	n de la concesión europea:	25.11.2015	EP 2264788	

54 Título: Célula solar múltiple monolítica		
30 Prioridad:	73 Titular/es:	
 04.01.2005 DE 102005000767 (45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente: 10.03.2016 	AZUR SPACE SOLAR POWER GMBH (100.0%) Theresienstrasse 2 74072 Heilbronn, DE 72 Inventor/es:	
	MEUSEL, MATTHIAS; STROBL, GERHARD; DIMROTH, FRANK y BETT, ANDREAS 74 Agente/Representante:	

ARIAS SANZ, Juan

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

Célula solar múltiple monolítica

La invención se refiere a una célula solar múltiple monolítica de elementos del grupo principal III y V del sistema periódico con espejo semiconductor integrado.

5 En particular la invención se refiere a una célula solar múltiple monolítica según la reivindicación 1.

Una célula solar doble, también denominada célula solar tándem, se conoce de la referencia literaria "Prog. Photovolt: Res. Appl. 2001; 9:165 - 178, F. Dimroth et al.: Metamorphic GavIn1-vP/Ga1-xIn_As Tandem Solar Cells for Space and for Terrestrial Concentrator Applications at C>1000 Suns". Como espejo semiconductor integrado se usa un espejo de Bragg. A este respecto, el espejo de Bragg se aplica de forma epitaxial sobre un sustrato de GaAs, sobre el que se aplica de nuevo de nuevo la célula solar doble GalnP/GalnAs, que presenta una polaridad n a p.

10

Por Physica E. 2002, Vo. 14, pág. 84-90, M. Yamaguchi: "Multi-junction solar cells and novel structures for solar cell applications" se conocen células solares sencillas y múltiples, pudiendo estar dispuesto un reflector de Bragg en el caso de las células solares sencillas sobre el lado posterior.

Por Journal of Electronic Material, Vol. 21, nº 3, 1992, S.M. Vernon et al.: "Growth and Characterization of Al_xGa_{1.x}As 15 Bragg Reflectors by LP-MOCVD" se conoce una célula solar de GaAs con un reflector de Bragg sobre un sustrato de silicio.

De la referencia literaria "Solar Energy Materials & Solar Cells 68 (2001) 105 - 122, M. Z. Shvarts et al.: Radiation resistant AlGaAs/GaAs concentrator solar cells with internal Bragg reflector" se conoce una célula solar sencilla de GaAs. por debajo de la que está dispuesto un espejo de Bragg. En el caso de la célula solar usada se trata de una tal con polaridad p a n.

20

30

Por Antonio Luque et al.: "Theoretical Limits of Photovoltaic Conversion", en: "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", 25 de abril de 2003, John, Wiley Sons. Ltd, Chichester, UK. SIBN: 978-0-47-149196-5, páginas 113-151, se divulga una investigación teórica de la construcción del espejo en una estructura de célula solar múltiple.

Por el documento WO-A-2004/017425 se conoce una célula solar múltiple, en la que entre células solares individuales 25 discurren reflectores de lado posterior que ejercen la función de espejos eléctricos respecto a portadores de carga minoritarios.

Las células solares triples adaptadas a la red de Ga0,5P/Ga0,99In0,01As/Ge son líderes del mercado entre las células solares espaciales. Las mejores células alcanzan el 30-31 % de rendimiento entre el espectro solar espacial AMO. En la producción se ha conseguido hasta ahora como máximo un rendimiento promedio de al menos el 28.3 %. Un factor decisivo es la dureza de radiación de las células. Según una irradiación típica con 1x10¹⁵ cm⁻² 1MeV electrones se degrada el rendimiento de estas células al 24,3%. Esto se corresponde con un factor residual del 86 %.

Células solares quíntuples y séxtuples se describen en "M. Hatcher: Solar cell manufacturers come back down to earth", Compondsemiconductor.net revista, noviembre 2003.

- La presente invención tiene el objetivo de perfeccionar una célula solar múltiple monolítica del tipo mencionado al inicio 35 para mejorar la estabilidad a la radiación, de modo que se aumenta el rendimiento end-of-life (EOL, fin de vida útil). Simultáneamente no se debe menoscabar esencialmente la generación de corriente de las subcélulas individuales. A este respecto, no se debe influir de forma perceptible en el coste durante la fabricación de la célula solar.
- Según la invención el objetivo se consigue esencialmente porque la célula solar multicapa comprende tres subcélulas, porque el espejo semiconductor está dispuesto entre dos subcélulas y presenta varias capas con al menos índice de refracción diferente uno de otro y porque el espejo semiconductor presenta un elevado grado de reflexión en al menos una 40 parte del rango de absorción de la subcélula o subcélulas dispuestas sobre el espejo semiconductor y un elevado grado de transmisión para la radiación en el rango de absorción espectral de la subcélula o subcélulas dispuestas por debajo del espejo semiconductor.
- Con grado de reflexión R se designa aquí la reflexión dependiente de la longitud de onda promediada sobre un rango 45 espectral determinado. Idealmente este rango espectral comprende todo el rango de absorción espectral de la subcélula situada sobre el espejo semiconductor. En la aplicación es suficiente con frecuencia un rango espectral más pequeño, en particular una banda de reflexión próxima a la energía de la banda prohibida de la subcélula situada por encima con una semianchura HWB de 40 nm ≤ HWB ≤ 300 nm.
- Un elevado de grado de reflexión R significa a este respecto que la reflexión promedio sobre la banda de reflexión es de R 50 \geq 0,3, preferentemente R \geq 0,7, en particular 0,7 \leq R \leq 1.

ES 2 563 045 T3

Con grado de transmisión T se designa aquí la transmisión dependiente de la longitud de onda, promediada sobre el rango de absorción espectral de la subcélula o subcélulas situadas por debajo del espejo semiconductor. Un elevado grado de transmisión T significa a este respecto que T es \geq 0,5, preferentemente T \geq 0,85, en particular 0,9 \leq T \leq 1.

Según la invención se propone un espejo óptico en forma de un espejo semiconductor integrado de forma monolítica para células solares múltiples que se compone o comprende semiconductores compuestos del grupo III y V del sistema periódico, comprendiendo la célula solar múltiple tres o más subcélulas. A este respecto, el espejo semiconductor se construye por debajo de la n célula solar de la célula solar múltiple mediante un procedimiento apropiado de epitaxia. Procedimientos apropiados de epitaxia son por ejemplo MOVPE (Metal-Organic-Vapour-Phase Epitaxy, epitaxia metalorgánica en fase vapor) o MBE (Molecular Beam Epitaxy, epitaxia por haces moleculares) o VPE (Vapor Phase Epitaxy, epitaxia en fase vapor) por mencionar solo algunos procedimientos.

El espejo semiconductor se compone de varias capas semiconductoras delgadas con índice de refracción diferente. A este respecto, el número, secuencia y espesor de las capas está seleccionado de modo que una parte del espectro solar se refleja de vuelta en la n célula solar de las m subcélulas solares que comprende células solares múltiples. A este respecto es m > n así como m ≥ 3 . Mediante el uso de un espejo semejante se puede reducir a la mitad el espesor de la n

- 15 célula solar sin reducir fuertemente la absorción en la célula solar. Al mismo tiempo las capas se seleccionan de modo que el espejo semiconductor posee una elevada transmisión en otra parte del espectro solar. De este modo se garantiza que la generación de corriente en la (m+1) célula solar, es decir aquella que discurre por debajo del espejo semiconductor, así como las otras subcélulas situadas por debajo del espejo semiconductor no se reduce más allá de una medida crítica.
- El montaje de un espejo semiconductor correspondiente es entonces especialmente ventajoso en particular cuando una de las subcélulas de la célula solar múltiple se compone de material con una longitud de difusión baja, o cuando la longitud de difusión en una de las subcélulas se empeora esencialmente durante la aplicación. Mediante el uso del espejo semiconductor se puede reducir a la mitad el espesor de la n subcélula sin reducir fuertemente la absorción en esta subcélula. La combinación de la introducción de un espejo semiconductor y reducción simultánea del espesor de célula repercute de forma positiva en la generación de corriente. Por un lado, se produce un perfil de generación más favorable a
- 25 lo largo de la profundidad de las capas activas de la subcélula. Es especialmente significativo que debido al espesor de célula menor se reduce fuertemente la distancia promedio entre los portadores de carga minoritarios generados y la zona de carga espacial. Esto conduce a una probabilidad aumentada de que los portadores de carga minoritarios se encuentren en la zona de carga espacial durante la difusión y por consiguiente contribuyan a la generación de corriente. Por consiguiente se reduce la recombinación.
- 30 Un ejemplo de aplicación importante es la célula solar triple Ga_{0,5}In_{0,5}P/Ga_{0,99}In_{0,01}As/Ge, que se ha convertido en los últimos años en la célula solar más aplicada en los satélites. En el espacio las células solares están expuestas a un espectro de partículas de alta energía, por ejemplo electrones y protones con energía en el rango MeV. Esta radiación puede conducir a una degradación de la célula solar, en particular a una recombinación aumentada y por consiguiente a una longitud de difusión baja en el material semiconductor. Mientras que la célula superior de GaInP y la célula inferior de
- 35 Ge son relativamente insensibles a la radiación del espacio, la célula intermedia de Ga_{0,99}In_{0,01}As muestra una fuerte degradación. En dosis de radiación típicas, como por ejemplo 1x10¹⁵ cm⁻² 1 MeV electrones, la longitud de difusión disminuye fuertemente en Ga_{0,99}In_{0,01}As, de modo que solo una parte de los portadores de carga minoritarios generados solo llega a la zona de carga espacial. La consecuencia es una fuerte degradación de la corriente generada o de la eficiencia cuántica de la célula intermedia. La degradación de la célula intermedia determina por consiguiente la
- 40 degradación de la célula solar triple. Esta degradación se puede reducir claramente mediante el intercalado según la invención del espejo semiconductor entre la célula intermedia e inferior y reducción a la mitad simultánea del espesor de la célula intermedia. Las capas del espejo semiconductor se seleccionan en este caso de modo que se consigue una elevada reflexión en el rango espectral de energías más elevadas que las de la banda prohibida del Ga_{0,99}In_{0,01}As de aprox. 1,4 eV. Simultáneamente se debe conseguir una transmisión suficiente para energías menores, de modo que en la
- 45 célula inferior de Ge todavía se genera suficiente corriente. En el caso de la célula solar triple de Ga_{0,5}ln_{0,5}P/Ga_{0,99}ln_{0,01}As/Ge, la célula inferior de Ge genera un excedente de corriente (aprox. 30 mA/cm² en comparación a las subcélulas superiores con aprox. 17 mA/cm²), por lo que los requerimientos en transparencia del espejo semiconductor para energías más pequeñas no son tan elevados.
- Mientras que en el caso de la célula solar triple de Ga_{0,5}In_{0,5}P/Ga_{0,99}In_{0,01}As/Ge, todas las células solares son realizadas con la misma constante de red de forma adaptada a la red respecto al sustrato, en el desarrollo se analizan actualmente las células solares triples que se componen de capas mal adaptadas a la red. Combinaciones típicas de materiales son aquí GaInP/GaInAs/Ge o también AlGaInP/GaInAs/Ge, siendo más elevado el contenido de indio en una o en ambas subcélulas superiores que en la célula solar triple mencionada anteriormente. La aplicación del espejo semiconductor según la invención para este concepto de célula es análoga. Los requerimientos en la transparencia del espejo semiconductor para energías más pequeñas que las de la banda prohibida de energía del GaInAs usado son aquí algo
- más elevados, dado que el excedente de generación es menor aquí en la célula inferior de Ge.

Análogamente el espejo semiconductor también se puede aplicar para células solares quíntuples adaptadas a la red y mal

ES 2 563 045 T3

adaptadas a la red, que se desarrollan en la actualidad igualmente para la aplicación espacial. AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/Ge es por ejemplo una combinación típica de materiales para una célula semejante.

Mientras que en los conceptos de célula discutidos anteriormente surge el problema de la baja longitud de difusión debido a la aplicación en el espacio y la radiación allí reinante, también hay conceptos para células solares múltiples que

- contienen materiales con longitud de difusión inherentemente baja. Las células solares triples de Ga_{0.5}In_{0.5}P/Ga_{0.99}In_{0.01}As/Ge se pueden ampliar bajo adición de otra subcélula de un material con una banda prohibida de energía de aprox. 1 eV formando células solares cuádruples de Ga_{0.5}In_{0.5}P/Ga_{0.99}In_{0.01}As/material 1eV/Ge. Con el material GalnNAs se puede realizar por ejemplo una banda prohibida de energía de 1 eV con adaptación a la red simultánea respecto al sustrato de Ge. No obstante, este material muestra hasta ahora longitudes de difusión muy bajas, por lo cual todavía no se han conseguido mejores resultados con células solares cuádruples que con células solares triples.
 - El montaje de un espejo semiconductor por debajo de la subcélula de GalnNAs con adaptación simultánea del espesor de célula se puede adaptar igualmente de forma satisfactoria en este caso. A este respecto, las capas del espejo semiconductor se seleccionarán de modo que se consiga una elevada reflexión para energías mayores de 1 eV y simultáneamente una transmisión elevada para energías menores de 1 eV. Los requerimientos en la transparencia del
- 15 espejo semiconductor para energías más pequeñas son aquí todavía muy elevados, dado que la célula inferior de Ge no dispone de un excedente de generación. Una célula solar cuádruple semejante es apropiada no solo para la aplicación en el espacio, sino también para la aplicación en sistemas concentradores terrestres.

Además, se conocen células solares séxtuples para la aplicación espacial. Ésta se obtiene por ejemplo de la ampliación de una célula solar quíntuple de AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/Ge con otra subcélula de un material con una banda
 prohibida de energía de aprox. 1,0-1,1 eV. Una posible combinación de materiales es por consiguiente AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/Ge. Conforme a la enseñanza según la invención se realiza el montaje de uno o incluso dos espejos semiconductores.

Ejemplos de células solares múltiples también se pueden extraer de la referencia literaria "Proceedings of 19th European Photovoltaic Energy Conference, 7 a 11 de junio de 2004, París, pág. 3581 – 3586, M. Meusel et al.: "European Roadmap for the Develpmen of III-V Multi-Junction Space Solar Cells".

25

30

50

Si habitualmente para la epitaxia de una estructura de célula solar múltiple se usa un substrato de Ge, que se activa durante la epitaxia y forma la célula inferior de Ge, la enseñanza también se puede aplicar análogamente para células solares en las que la epitaxia se realiza sobre un sustrato de silicio o de Si/Ge.

Independientemente de ello un perfeccionamiento de la invención prevé que la capa, que precede a la subcélula siguiente, del espejo semiconductor presente una estructura de red que esté adaptada a la subcélula.

Las capas del espejo semiconductor se componen de semiconductores compuestos del grupo principal III y V del sistema periódico o los contienen. A este respecto, los semiconductores compuestos pueden estar dopados con Si, Te, Zn, C, Mg y/o Se.

Las capas se pueden componer de material semiconductor compuesto como material AlGaInAs y/o material AlGaInP o lo contienen, donde AlGaInAs incluye GaAs, InAs, AlAs, GaInAs, AlGaAs, AlInAs y/o AlGaInP incluye GaP, InP AIP, GaInP o AlInP.

La capa correspondiente del espejo semiconductor debería presentar un espesor d con 2 nm \leq d \leq 300 nm, en particular 10 nm \leq d \leq 150 nm.

El espejo semiconductor se compone de n capas, siendo $10 \le n \le 50$, en particular $15 \le n \le 35$. El espesor total D del espejo semiconductor debería ser de 500 nm $\le D \le 4000$ nm, en particular 750 nm $\le D \le 2500$ nm.

Muy en general la invención enseña que, en el caso de n capas del espejo semiconductor, al menos dos capas presentan un índice de refracción diferente y/o al menos dos capas presentan una composición de material diferente y/o al menos dos capas presentan espesores diferentes. Evidentemente tres o más capas también pueden presentar una composición de material diferente o índices de refracción diferentes o espesores diferentes.

45 Debido a la multiplicidad de las capas de material diferentes se producen en particular propiedades ventajosas en referencia a la reflexión y transmisión, así como la posibilidad de la pasivación de la superficie límite respecto a la subcélula situada por encima.

En particular la invención prevé que el espejo semiconductor esté montado entre la célula intermedia e inferior de una célula solar triple de GaInP/GaInAs/Ge, presentando en particular la célula intermedia de GaInAs un espesor d_m con 500 \leq d_m \leq 2500 nm, en particular 800 \leq d_m \leq 2000 nm.

Un montaje de un espejo semiconductor también es posible de forma análoga en una célula solar quíntuple, que se

compone por ejemplo de subcélulas de AlGalnP/GalnP/AlGalnAs/GalnAs/Ge, debiendo estar dispuesto el espejo semiconductor entre la célula solar de GalnAs y la de Ge.

Si se usa una célula solar séxtuple, en la que están construidos uno o varios espejos semiconductores, entonces la célula solar se debería componer de las subcélulas AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/GaInNAs/Ge.

- 5 Un rendimiento EOL especialmente bueno se puede obtener entonces cuando el espejo semiconductor presenta un elevada semianchura. Sería óptima una semianchura (HWB) que incluiría todo el rango de absorción de la subcélula situada por encima. No obstante, de este modo se asumirían limitaciones en el grado de reflexión o sería necesario un consumo de material elevado. Para obtener una optimización, la semianchura debería estar entre 50 nm y 300 nm, en particular entre 80 nm y 150 nm.
- 10 Las capas del espejo semiconductor deberían estar diseñadas además de manera que el grado de reflexión R es de R ≥ 0,3, en particular R ≥ 0,7, preferentemente 0,7 ≤ R ≤ 1 y el grado de transmisión T es de T ≥ 0,5, en particular T ≥ 0,85, preferentemente 0,9 ≤ T ≤ 1.

Un caso especial del espejo semiconductor según la invención es el reflector de Bragg. Éste se compone habitualmente de una superred periódica de 2 materiales con diferente índice de refracción. El espesor de las capas correspondientes de un material es constante. De este modo se pueden obtener según el número de los periodos de superrred reflexiones hasta cerca del 100%. Los espejos de Bragg se usan por ejemplo en láseres que emiten superficialmente.

Muy en general el espejo semiconductor según la invención, que presenta la función de un espejo óptico, constituye en referencia a las subcélulas dispuestas sobre éste un reflector extremadamente bueno y en referencia a la subcélula dispuesta por debajo del espejo semiconductor un filtro paso largo.

- 20 La enseñanza según la invención se debe aplicar en particular ventajosamente entonces cuando una de las subcélulas, una célula solar múltiple, se compone de un material con una longitud de difusión baja o cuando la longitud de difusión se empeora esencialmente en una de las subcélulas durante la aplicación. Mediante el uso del espejo semiconductor se puede reducir a la mitad el espesor de la n subcélula, sin que se reduzca esencialmente la absorción en la subcélula. La combinación del montaje de un espejo semiconductor y reducción simultánea del espesor de célula repercute de forma
- 25 positiva en la generación de corriente. Por un lado, se produce un perfil de regeneración más favorable sobre la profundidad de las capas activas de la subcélula, por otro lado, mediante el espesor de célula más pequeño se reduce fuertemente la distancia promedio entre los portadores de carga minoritarios generados y la zona de carga espacial. Esto conduce a una elevada probabilidad de que los portadores de carga minoritarios se encuentren en la zona de carga espacial durante la difusión y por consiguiente contribuyan a la generación de corriente. La recombinación se reduce en
- 30 consecuencia. Por lo tanto debido a la enseñanza según la invención se consigue un aumento de la corriente generada en una subcélula, que se limita por una longitud de difusión baja. En particular se puede mejorar claramente la estabilidad a la radiación de la célula intermedia de Ga_{0,99}In_{0,01}As de una célula solar triple de Ga_{0,5}In_{0,5}P/Ga_{0,99}In_{0,01}As/Ge.

Mediante el montaje de un espejo semiconductor se puede reducir además el espesor total de la estructura de célula solar múltiple. Mejoras correspondientes de la estabilidad a la radiación se producen en el caso de las subcélulas de Ga_{0,99}In_{0,01}As o GalnAs mal adaptadas a la red en células solares múltiples con tres o más subcélulas. Para la aplicación eficaz de nueve materiales con longitud de difusión baja como GalnNAs como subcélula en una célula solar múltiple puede contribuir de forma decisiva la enseñanza mediante el montaje de un espejo semiconductor.

El espejo semiconductor se destaca por materiales apropiados, realizándose una adaptación de red respecto a la subcélula sobre el espejo semiconductor. A este respecto se usan al menos dos materiales con una elevada diferencia en el índice de refracción para conseguir una reflexión elevada. Los materiales con una banda prohibida igual o mayor que la de la subcélula situada por encima se usan para que no tenga lugar una absorción para energías más pequeñas. Mediante el montaje del espejo semiconductor se puede reducir, en particular a la mitad, el espesor de la subcélula aplicada sobre el espejo semiconductor.

Para la configuración del espejo semiconductor se aplican procedimientos de epitaxia habituales, que permiten la depositación de numerosas capas de materiales diferentes. A modo de ejemplo se deben mencionar MOVPE, MBE, VPE, etc. A este respecto, el espejo semiconductor se deposita durante la epitaxia de la estructura de células solares.

Otros detalles, ventajas y características de la invención se deducen no solo de las reivindicaciones, las características a deducir de éstas, en sí mismas y/o en combinación, sino también de la descripción siguiente del dibujo de ejemplos de realización preferentes a deducir.

50 Muestran:

15

- Fig. 1 una estructura esquemática de una célula solar múltiple con espejo semiconductor integrado,
- Fig. 2 reflexión de un espejo semiconductor ideal, y

Fig. 3 reflexión simulada de un espejo semiconductor.

De la fig. 1 se puede deducir una estructura esquemática de una célula solar múltiple 10 con un espejo semiconductor montado según la invención. La célula solar 10 se compone de m subcélulas 12, 14, 16, 18 que se han aplicado de forma epitaxial sobre un sustrato 20. Entre la (n) célula 16 con m > n y la (n+1) célula 18 está montado un espejo semiconductor

- 5 22, que se ha depositado durante la epitaxia de la estructura de célula solar. Como procedimientos de epitaxia apropiados entran en consideración aquellos que son apropiados para la depositación de numerosas capas de materiales diferentes. A modo de ejemplo se deben mencionar MOVPE, MBE (Molecular Beam Epitaxy) o VPE (Vapor Phase Epitaxy), sin que se produzca por ello una limitación de la enseñanza según la invención.
- En particular la célula solar múltiple 10 es una célula solar triple, componiéndose la célula superior de Ga_{0.5}In_{0.5}P, la célula 10 intermedia de Ga099In0.01As y la célula inferior de Ge. El espejo semiconductor 22 que se compone de varias capas está montado en particular entre la célula inferior de Ge y la célula intermedia de Ga0.99 In0.01 As. A este respecto, la estructura de capa es tal que al menos dos capas se componen de materiales diferentes, espesores diferentes uno de otro e índice de refracción diferente.
- Mediante la selección de los materiales, espesores de capa e índices de refracción se produce en el caso ideal un 15 comportamiento de reflexión según se puede deducir éste de la fig. 2. Así se produce una reflexión máxima para energías mayores de la energía de banda prohibida de la n subcélula, es decir, en el ejemplo de realización de la célula triple con una célula intermedia de Ga0.99 In0.01 As con una energía de banda prohibida > 1,4 eV o 880 nm una reflexión máxima. Para energías menores de la energía de banda prohibida de la n célula, la reflexión es mínima o la transmisión máxima. A este respecto, las pérdidas de transmisión debido a absorción en el espejo semiconductor se pueden evitar mediante la 20 selección de materiales apropiados por ejemplo GaAs y AlGaAs o volverse despreciablemente pequeñas.

La capa superior del espejo semiconductor 22 se puede componer de GaInP y simultáneamente el campo de lado posterior para la célula intermedia situada por encima puede ser Ga0.99 In0.01 As. El GalnP se usa a este respecto como material, dado que éste presenta propiedades muy buenas como pasivación del lado posterior. Las capas restantes del espejo semiconductor 22 se componen en el ejemplo de realización de tres materiales: Ga0,99 In0,01 As, Al0,2 Ga0,8 As y

25 Al_{0.8}Ga_{0.2}As. A este respecto existe una diferencia esencial respecto al reflector de Bragg, que se compone de solo dos materiales diferentes. Adicionalmente en el ejemplo se usan los más diferentes espesores de capa, mientras que en el caso del reflector de Bragg clásico todas las capas de un material presentan el mismo espesor.

Otra característica esencial de la secuencia de capas del espejo semiconductor 22 es que éste consigue, por un lado, una reflexión elevada para energías por encima del borde de banda de la subcélula situada por encima, pero por otro lado, 30 también posee una reflexión baja o transmisión elevada para energías más bajas. Para la ilustración en la fig. 3 se muestra la reflexión calculada del espejo semiconductor en la superficie límite respecto a la subcélula de Gaussinouna situada por encima. Para longitudes de onda entre 800 nm y 900 nm se consigue una reflexión elevada. Para longitudes de onda mayores de 900 nm la reflexión es por el contrario baja. Esto es una propiedad importante del espejo semiconductor para garantizar que la generación de corriente en la célula inferior de Ge no se reduzca esencialmente por el espejo semiconductor 22.

35

REIVINDICACIONES

1.- Célula solar múltiple (10) monolítica compuesta esencialmente de elementos del grupo principal III y V del sistema periódico, en la que la célula solar múltiple (10) comprende tres subcélulas (12, 14, 16) de GalnP / GalnAs / Ge, en la que GalnP está configurada como célula superior y GalnAs como célula intermedia y Ge como célula inferior,

5 caracterizada porque

15

20

30

45

entre la célula intermedia y la célula inferior está dispuesto un espejo semiconductor (22) y la célula intermedia presenta un espesor reducido y el espesor d_m es de $500 \le d_m \le 2500$ nm, **porque** el espejo semiconductor (22) presenta varias capas de índice de refracción y/o composición de material y/o espesor diferente uno de otro, y

siendo el espesor d de las capas del espejo semiconductor (22) de 10 nm ≤ d ≤ 150 nm y el espejo semiconductor (22)
 se compone de n capas con 10 ≤ n ≤ 50 y la semianchura HWB del espejo semiconductor (22) es de 50 nm ≤ HWB ≤ 150 nm, y

porque el espejo semiconductor presenta un grado de reflexión elevado en al menos una parte del rango de absorción espectral de la subcélula (16) o las subcélulas (12, 14, 16) dispuestas sobre el espejo semiconductor y un grado de transmisión elevado en el rango de absorción espectral de la subcélula (18) o subcélulas dispuestas por debajo del espejo semiconductor, y la célula solar múltiple está construida sobre un sustrato de Ge.

- 2.- Célula solar múltiple según la reivindicación 1, caracterizada porque las capas del espejo semiconductor (22) se componen de semiconductores compuestos del grupo principal III y V del sistema periódico o los contienen y están dopados en particular con Si, Te, Zn, C, Mg y/o Se.
- 3.- Célula solar múltiple según la reivindicación 1 o 2, caracterizada porque la capa del espejo semiconductor (22) configurada directamente por debajo de la subcélula (16) situada por encima forma el campo de lado posterior de la subcélula.
 - 4.- Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la capa o capas del espejo semiconductor (22), que están dispuestas directamente por debajo de la subcélula (16) siguiente, están adaptadas a la red en la subcélula (16).
- 5.- Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el espejo semiconductor (22) presenta materiales con una energía de la banda prohibida igual o superior que la subcélula (16) situada por encima.
 - 6.- Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque las capas del espejo semiconductor (22) se componen de semiconductores compuestos en forma de material AlGalnAs y/o material AlGalnP, incluyendo el material AlGalnAs GaAs, InAs, AlAs, GalnAs, AlGaAs, AlInAs y/o el material AlGalnP incluye GaP, InPAIP, GalnP y/o AlInP.
 - 7.- Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el espejo semiconductor (22) se compone de al menos tres capas con índice de refracción diferente y/o de al menos tres capas con composición diferente y/o con espesor diferente.
- 35 8.- Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el espejo semiconductor (22) presenta un espesor total D con 500 nm ≤ D ≤ 4000 nm, y componiéndose el espejo semiconductor (22) de n capas con 15 ≤ n ≤ 35.
 - 9.- Célula solar múltiple según la reivindicación 8, **caracterizada porque** el espejo semiconductor (22) presenta un espesor total D con 750 nm ≤ D ≤ 2500 nm.
- 40 10.- Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la célula intermedia presenta un espesor d_m con 800 nm ≤ d_m ≤ 2000 nm.
 - 11.- Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la subcélula de GalnAs dispuesta por encima del espejo semiconductor (22) presenta un espesor con la mitad de espesor o con aproximadamente la mitad de espesor que la subcélula de GalnAs correspondiente en ausencia del espejo semiconductor.
 - 12.- Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** el espejo semiconductor (22) se deposita de forma epitaxial durante una configuración epitaxial de la célula solar múltiple (10).

ES 2 563 045 T3











Fig. 3

9