

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 560 441**

51 Int. Cl.:

H01L 31/056 (2014.01)

H01L 31/0687 (2012.01)

H01L 31/0304 (2006.01)

H01L 31/0216 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2005 E 14002885 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.10.2015 EP 2827384**

54 Título: **Célula solar múltiple monolítica**

30 Prioridad:

04.01.2005 DE 102005000767

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

19.02.2016

73 Titular/es:

**AZUR SPACE SOLAR POWER GMBH (100.0%)
Theresienstrasse 2
74072 Heilbronn, DE**

72 Inventor/es:

**STROBL, GERHARD;
MEUSEL, MATTHIAS;
DIMROTH, FRANK y
BETT, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 560 441 T3

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

DESCRIPCIÓN

Célula solar múltiple monolítica

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

5 Una célula solar doble correspondiente, también denominada célula solar en tándem, es conocida por el sitio de la literatura " Prog. Photovolt: Res. Appl. 2001; 9:165 - 178, F. Dimroth y col.: Meta-morphic $Ga_yIn_{1-y}P/Ga_{1-x}In_xAs$ Tandem Solar Cells for Space and for Terrestrial Concentrator Applications at $C>1000$ Suns". Como espejo semiconductor integrado se usa un espejo de Bragg. El espejo de Bragg se aplica, a este respecto, a un sustrato de GaAs de forma epitaxial, al que se aplica a su vez la célula solar doble de GaInP/GaInAs de forma epitaxial, que presenta una polaridad n sobre p.

10 Por Physica E. 2002, Vo. 14, p. 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 en el caso de células solares sencillas en la cara posterior un reflector de Bragg.

15 Por Journal of Electronic Materials, Vol. 21, Nº. 3, 1992, S. M. Vemon y col.: "Growth and Characterization of $Al_xGa_{1-x}As$ Bragg Reflectors by LP-MOCVD" se conoce una célula solar de GaAs con un reflector de Bragg sobre un sustrato de silicio.

20 Por el sitio de la literatura "Solar Energy Materials & Solar Cells 68 (2001) 105-122, M. Z. Shvarts y col.: Radiation resistant AlGaAs/GaAs concentrator solar cells with internal Bragg reflector" se conoce una célula solar sencilla de GaAs, debajo de la cual está dispuesto un espejo de Bragg. La célula solar usada es una con una polaridad p sobre n.

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

25 Las células solares triples adaptadas a retícula de $Ga_{0,5}In_{0,5}P/Ga_{0,99}In_{0,01}As/Ge$ son líderes del comercio entre las células solares espaciales. Las mejores células logran el 30-31 % de rendimiento bajo el espectro solar espacial AMO. En la producción se ha logrado, hasta la fecha, como máximo, un rendimiento promedio de al menos el 28,3 %. Un factor determinante es la dureza de radiación de las células. Después de una radiación típica con 1×10^{15} electrones de 1 MeV cm^{-2} empeora el rendimiento de estas células al 24,3 %. Esto corresponde a un factor residual del 86 %.

30 En "M. Hatcher: Solar cell manufacturers come back down to earth", Compoundsemiconductor.net Magazine, noviembre de 2003, se describen células solares quintuples y séxtuples.

35 La presente invención se basa en el objetivo de perfeccionar una célula solar múltiple monolítica del tipo mencionado al comienzo del presente documento de tal modo que se mejore la estabilidad de radiación, de modo que se aumente el rendimiento al final de su vida útil (*end-of-life* (EOL)). Simultáneamente, la generación de corriente de las subcélulas individuales no debe reducirse esencialmente. A este respecto, no debe influirse significativamente en el coste de fabricación de la célula solar.

40 Según la invención el objetivo se logra esencialmente de modo que la célula solar múltiple comprenda al menos tres subcélulas, que el espejo semiconductor esté dispuesto entre dos subcélulas y presente varias capas con al menos un índice de refracción que varía entre las mismas y que el espejo semiconductor presente un grado de reflexión alto en al menos una parte del intervalo de absorción de la subcélula o las subcélulas dispuestas por encima del espejo semiconductor y un grado de transmisión alto para la radiación en el intervalo de absorción espectral de la subcélula o las subcélulas dispuestas por debajo del espejo semiconductor.

45 Con el grado de reflexión R se denomina en el presente documento la reflexión dependiente de la longitud de onda como media a lo largo de un intervalo espectral determinado. De forma ideal, este intervalo espectral comprende la totalidad del intervalo de absorción espectral de la subcélula dispuesta por encima del espejo semiconductor. En aplicación es suficiente a menudo un intervalo espectral más reducido, particularmente una banda de reflexión cercana a la energía de banda prohibida de la subcélula dispuesta por encima del mismo con una semianchura HWB de $40 \text{ nm} = HWB = 300 \text{ nm}$.

50 A este respecto, un grado de reflexión R alto significa que la reflexión promedio a lo largo de la banda de reflexión es $R = 0,3$, preferentemente $R = 0,7$, particularmente $0,7 = R = 1$. Con el grado de transmisión T se denomina en el presente documento la transmisión dependiente de la longitud de onda, como media a lo largo del intervalo de absorción espectral de la subcélula o las subcélulas dispuestas por debajo del espejo semiconductor. A este respecto, un grado de transmisión T alto significa que es $T = 0,5$, preferentemente $T = 0,85$, particularmente $0,9 = T = 1$.

Según la invención se propone un espejo óptico en forma de un espejo semiconductor monolíticamente integrado para células solares múltiples constituido por, o que 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 incorpora por debajo de la célula solar n-ésima de la célula solar múltiple mediante un procedimiento de epitaxia adecuado. Procedimientos de epitaxia adecuados son, por ejemplo, MOVPE (epitaxia en fase vapor de compuestos organometálicos) o MBE (epitaxia de haz molecular) o VPE (epitaxia en fase vapor), por nombrar solo algunos procedimientos.

El espejo semiconductor está constituido por varias capas semiconductoras finas con distintos índices de refracción. A este respecto, el número, la sucesión y el espesor de la capas se elige de modo que una parte del espectro solar en la subcélula n-ésima de la célula solar múltiple que contiene m subcélulas solares se refleje de vuelta. A este respecto, $m > n$ y $m = 3$. Mediante el uso de un espejo de este tipo puede reducirse a la mitad el espesor de la subcélula n-ésima, sin reducir fuertemente la absorción en la subcélula. Simultáneamente, las capas se eligen de modo que el espejo semiconductor posea una transmisión alta en otra parte del espectro solar. Con ello se asegura que la generación de corriente en la subcélula (m+1)-ésima, es decir, cualquiera que se encuentre por debajo del espejo semiconductor, así como las otras subcélulas que se encuentran por debajo del espejo semiconductor, no se reduzca más allá de una medida crítica.

La incorporación de un espejo semiconductor correspondiente es, en particular, entonces, particularmente ventajosa cuando una de las subcélulas de la célula solar múltiple está constituida por material con una longitud de difusión reducida o cuando la longitud de difusión en una de las subcélulas durante su uso se deteriora esencialmente. Mediante el uso de un espejo semiconductor puede reducirse a la mitad el espesor de la subcélula n-ésima, sin que se reduzca fuertemente la absorción en esta subcélula. La combinación de incorporar un espejo semiconductor y simultáneamente reducir el espesor de la célula repercute positivamente sobre la generación de corriente. Por una parte se produce un perfil de generación más favorable a lo largo de la profundidad de las capas activas de la subcélula. Es particularmente importante que mediante un espesor de la célula reducido, la distancia promedio de los portadores de carga minoritarios producidos de la zona de carga espacial se reduzca fuertemente. Esto se traduce en una probabilidad aumentada de que los portadores de carga minoritarios se encuentren durante la difusión a la zona de carga espacial y, por lo tanto, contribuyan a la generación de corriente. Por lo tanto, la recombinación se reduce.

Un ejemplo de aplicación importante es la célula solar triple de $\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}/\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}/\text{Ge}$, que en los últimos años se ha convertido en la célula solar más usada en satélites. En el espacio, las células solares están expuestas a un espectro de partículas muy energéticas, por ejemplo electrones y protones con energías en el intervalo de MeV. Esta radiación puede ser causa de la degradación de la célula solar, particularmente de una recombinación aumentada y, con ello, de una longitud de difusión reducida en el material semiconductor. Mientras que la célula superior de GaInP y la célula inferior de Ge son relativamente insensibles a la radiación espacial, la célula intermedia de $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$ muestra una degradación fuerte. A dosis de radiación típicas, como por ejemplo 1×10^{15} electrones de 1 MeV cm^{-2} , la longitud de difusión en $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$ se reduce tan fuertemente que solo una parte de los portadores de carga minoritarios producidos alcanza la zona de carga espacial. La consecuencia es una degradación fuerte de la corriente generada o de la eficacia cuántica de la célula intermedia. La degradación de la célula intermedia determina, por lo tanto, la degradación de la célula solar triple. Mediante la incorporación según la invención del espejo semiconductor entre la célula intermedia y la inferior y simultáneamente la reducción a la mitad del espesor de la célula intermedia puede reducirse claramente esta degradación. Las capas del espejo semiconductor se eligen en este caso de modo que se logre una alta reflexión en el intervalo espectral de energías superiores a las de la banda prohibida de $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$ de aproximadamente $1,4 \text{ eV}$. Simultáneamente debe lograrse una transmisión suficiente para energías más pequeñas de modo que en la célula inferior de Ge se genere aún una corriente suficiente. En el caso de la célula solar triple de $\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}/\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}/\text{Ge}$ la célula inferior de Ge genera un exceso de corriente (aproximadamente 30 mA/cm^2 en comparación con las subcélulas superiores con aproximadamente 17 mA/cm^2), con lo que los requerimientos sobre la transparencia del espejo semiconductor para energías más pequeñas no son, en conjunto, demasiado elevados.

Mientras que en el caso de la célula solar triple de $\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}/\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}/\text{Ge}$ todas las subcélulas se producen con la misma constante de retícula de forma adaptada a huecos de retícula al sustrato, se investigan en el desarrollo de células solares triples, actualmente, las constituidas por capas adaptadas a huecos de retícula. Las combinaciones de materiales típicos son, a este respecto, GaInP/GaInAs/Ge o también AlGaInP/GaInAs/Ge, siendo superior el contenido de indio en una o en las dos caras de las subcélulas superiores que en la célula solar triple mencionada anteriormente. El uso de espejos semiconductores según la invención para este concepto de célula es análogo. Los requerimientos sobre la transparencia del espejo semiconductor para energías inferiores a las de la banda prohibida de energía del GaInAs usado son, en este caso, superiores, dado que el exceso en la generación en la célula inferior de Ge es en este caso más reducido.

De forma análoga se puede usar el espejo semiconductor también para células solares quintuples adaptadas a retícula y adaptadas a huecos de retícula, que actualmente también se desarrollan para su uso en el espacio. AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/Ge es, por ejemplo, una combinación de materiales típica para una célula de este tipo.

- Mientras que en los conceptos de célula discutidos anteriormente se produce el problema de la longitud de difusión reducida por el uso en el espacio y la radiación dominante en el mismo, existen también conceptos para células solares múltiples que incluyen materiales con longitud de difusión inherentemente reducida. Las células solares triples de $\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}/\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}/\text{Ge}$ se pueden ampliar con la adición de otra subcélula de un material con una banda prohibida de energía de aproximadamente 1 eV, dando una célula solar cuádruple de $\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}/\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}/\text{material de 1eV}/\text{Ge}$. Con el material GaInAs se puede realizar, por ejemplo, una banda prohibida de energía de 1 eV adaptando simultáneamente a retícula al sustrato de Ge. Este material muestra, no obstante, hasta la fecha, longitudes de difusión reducidas, por lo que no se han logrado resultados mejores con células solares cuádruples que con células solares triples.
- La incorporación según la invención de un espejo semiconductor por debajo de la subcélula de GaInAs adaptando simultáneamente el espesor de la célula puede usarse también exitosamente en este caso. A este respecto, las capas del espejo semiconductor se eligen de modo que se logre una reflexión alta para energías superiores a 1 eV y simultáneamente una alta transmisión para energías inferiores a 1 eV. Los requerimientos de transparencia del espejo semiconductor para energías más pequeñas son, a este respecto, muy altos, dado que la célula inferior de Ge no proporciona ningún exceso en la generación. Una célula solar cuádruple de este tipo es no solo adecuada para su uso en el espacio, sino también para su uso en sistemas de concentradores terrestres.
- Además, las células solares séxtuples para su uso en el espacio son conocidas. Estas se obtienen, por ejemplo, mediante la ampliación de una célula solar quintuple de $\text{AlGaInP}/\text{GaInP}/\text{AlGaInAs}/\text{GaInAs}/\text{Ge}$ con otra subcélula de un material con una banda prohibida de energía de aproximadamente 1,0-1,1 eV. Una combinación de materiales posible es, por lo tanto, $\text{AlGaInP}/\text{GaInP}/\text{AlGaInAs}/\text{GaInAs}/\text{GaInAs}/\text{Ge}$. De forma correspondiente, las enseñanzas según la invención se plasman en la incorporación de uno o incluso de dos espejos semiconductores.
- Ejemplos de células solares múltiples se pueden extraer también del sitio de la literatura "Proceedings of 19th European Photovoltaic Energy Conference, 7 – 11 de junio de 2004, París, p. 3581 - 3586, M. Meusel y col.: "European Roadmap for the Development of III-V Multi-Junction Space Solar Cells".
- Si de modo habitual para la epitaxia de una estructura de célula solar múltiple se usa un sustrato de Ge, que se activa durante la epitaxia y forma la célula inferior de Ge, las enseñanzas según la invención también se pueden aplicar a células solares en las que la epitaxia se realiza en sustratos de silicio o de Si/Ge.
- Independientemente de ello, se prevé una mejora de la invención de modo que la capa anterior a la subcélula siguiente del espejo semiconductor presente una estructura de retícula, que está adaptada a la de la subcélula.
- Las capas del espejo semiconductor están constituidas por semiconductores compuestos del grupo principal III y V del sistema periódico o contienen los mismos. A este respecto, los semiconductores compuestos pueden estar dopados con Si, Te, Zn, C, Mg y/o Se.
- Las capas pueden estar constituidas por material semiconductor compuesto tal como material AlGaInAs y/o material AlGaInP o contener el mismo, en las que AlGaInAs incluye GaAs , InAs AlAs , GaInAs , AlGaAs , AlInAs y/o AlGaInP incluye GaP ; InP AlP , GaInP o AlInP .
- La capa correspondiente del espejo semiconductor debería presentar un espesor d con $2 \text{ nm} = d = 300 \text{ nm}$, particularmente $10 \text{ nm} = d = 150 \text{ nm}$.
- El espejo semiconductor está constituido por n capas, siendo $10 = n = 50$, particularmente $15 = n = 35$. El espesor total D del espejo semiconductor debería ser $500 \text{ nm} = D = 4000 \text{ nm}$, en particular $750 \text{ nm} = D = 2500 \text{ nm}$.
- La invención enseña de modo muy general 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 un espesor diferente. Naturalmente, también pueden presentar tres o más capas una composición de material diferente o un índice de reflexión diferente o espesores diferentes.
- Por medio de la pluralidad de capas de material diferente se producen propiedades particularmente ventajosas con respecto a la reflexión y la transmisión, así como la posibilidad de pasivación de la superficie límite para dar la subcélula que se encuentra encima de la misma.
- En una forma de realización no reivindicada en el presente documento está previsto que el espejo semiconductor esté incorporado entre la célula intermedia y la célula inferior de una célula solar triple de $\text{GaInP}/\text{GaInAs}/\text{Ge}$, presentando preferentemente la célula intermedia de GaInAs un espesor d_m con $500 = d_m = 2500 \text{ nm}$, particularmente $800 \text{ nm} = d_m = 2000 \text{ nm}$.
- La invención prevé que uno o varios espejos semiconductores estén incorporados en una célula solar múltiple de $\text{GaInP}/\text{GaInAs}/\text{GaInAs}/\text{Ge}$, estando dispuesto un espejo semiconductor particularmente entre la subcélula de GaInAs y la de Ge.
- La incorporación de un espejo semiconductor es también posible en una célula solar quintuple no reivindicada en el

presente documento, que está constituida, por ejemplo, por subcélulas de AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/Ge, debiendo estar dispuesto el espejo semiconductor entre la subcélula de GaInAs y la de Ge.

Si se usa una célula solar séxtuple, en la que están incorporados uno o varios espejos semiconductores, la célula solar debería estar constituida por las subcélulas de AlGaInP/ GaInP/AlGaInAs/GaInAs/GaInAs/Ge.

5 Un rendimiento de EOL particularmente bueno se puede producir cuando el espejo semiconductor presenta una semianchura alta. Sería óptima una semianchura (HWB) que incluyera la totalidad del intervalo de absorción de la subcélula dispuesta sobre el mismo. Con ello, no obstante, se deberían asumir limitaciones en el grado de reflexión o sería necesario un aprovechamiento del material superior. Para lograr una optimización, debería encontrarse la semianchura entre 50 nm y 300 nm, particularmente entre 80 nm y 150 nm.

10 Las capas del espejo semiconductor deberían diseñarse, además, de modo que el grado de reflexión R fuera $R = 0,3$, particularmente $R = 0,7$, preferentemente $0,7 = R = 1$ y el grado de transmisión $T = 0,5$, particularmente $T = 0,85$, preferentemente $0,9 = T = 1$.

15 Un caso especial del espejo semiconductor según la invención es el reflector de Bragg. Este consiste habitualmente en una sobrerretícula periódica de 2 materiales con índices de refracción diferentes. El espesor de las capas correspondientes de un material es constante. Con ello pueden lograrse según el número de los periodos de sobrerretícula reflexiones de hasta casi el 100 %. Los espejos de Bragg se usan, por ejemplo, en láseres emisores de superficie.

20 De forma muy general, el espejo semiconductor que presenta la función de un espejo óptico representa según la invención con respecto a las subcélulas dispuestas por encima del mismo un reflector extremadamente bueno y con respecto a la subcélula dispuesta por debajo del espejo semiconductor un filtro de paso largo.

25 La enseñanza según la invención, particularmente, se usa de modo ventajoso cuando una de las subcélulas de la célula solar múltiple está constituida por material con una longitud de difusión reducida o cuando la longitud de difusión en una de las subcélulas durante su uso se deteriora esencialmente. Mediante el uso de un espejo semiconductor puede reducirse a la mitad el espesor de la subcélula n-ésima, sin que se reduzca esencialmente la absorción en la subcélula. La combinación de la incorporación de un espejo semiconductor y la reducción simultánea del espesor de la célula repercute positivamente sobre la generación de corriente. Por una parte se produce un perfil de regeneración adecuado a lo largo de la profundidad de las capas activas de la subcélula, por la otra se reduce mediante el espesor de célula reducido la distancia media de los portadores de carga minoritarios producidos de la zona de carga espacial fuertemente. Esto se traduce en una probabilidad aumentada de que los portadores de carga minoritarios se encuentren durante la difusión a la zona de carga espacial y, por lo tanto, contribuyan a la generación de corriente. La recombinación, por lo tanto, se reduce. Como consecuencia se logra por medio de la enseñanza según la invención un aumento de la corriente generada en la subcélula, que está limitada por una longitud de difusión reducida. Particularmente, la estabilidad de radiación de la célula intermedia $Ga_{0,99}In_{0,01}As$ de una célula solar triple de $Ga_{0,5}In_{0,5}P/Ga_{0,99}In_{0,01}As/Ge$ puede mejorarse claramente.

35 Mediante la incorporación de un espejo semiconductor puede reducirse, además, el espesor total de la estructura de célula solar múltiple. Las mejoras correspondientes sobre la estabilidad de radiación se producen en el caso de las subcélulas de $Ga_{0,99}In_{0,01}As$ o de GaInAs adaptadas a huecos de retícula en células solares múltiples con tres o más subcélulas. Para usar exitosamente nuevos materiales con longitud de difusión reducida tales como GaInAs como subcélula en una célula solar múltiple, la enseñanza según la invención de la incorporación de un espejo semiconductor puede aportar una contribución decisiva.

40 El espejo semiconductor se caracteriza por materiales adecuados, realizándose una adaptación a retícula a la subcélula dispuesta sobre el espejo semiconductor. A este respecto, se usan al menos dos materiales con una diferencia alta en el índice de refracción para lograr una reflexión elevada. Se usan materiales con una banda prohibida con una magnitud igual o superior que la subcélula que se encuentra por encima los mismos, para que no tenga lugar una absorción para energías más pequeñas. Mediante la incorporación del espejo semiconductor puede reducirse el espesor de la subcélula dispuesta sobre el espejo semiconductor, particularmente a la mitad.

45 Para construir el espejo semiconductor es adecuado usar procedimientos de epitaxia habituales, que permitan la deposición de numerosas capas de materiales diferentes, pudiendo mencionarse, por ejemplo, MOVPE, MBE, VPE etc. A este respecto, el espejo semiconductor se deposita conjuntamente durante la epitaxia de la estructura de célula solar.

Otros detalles, ventajas y características de la invención se pueden obtener no solo a partir de las características que se deducen de las reivindicaciones, de forma individual o en combinación, sino también a partir de los ejemplos de realización preferentes que se deducen de la descripción posterior de los dibujos.

Muestran:

55 Fig. 1: una construcción 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.

En la Fig. 1 se puede observar una construcción esquemática de una célula solar múltiple 10 con un espejo semiconductor incorporado según la invención. La célula solar 10 consiste en m subcélulas 12, 14, 16, 18, que se han aplicado de forma epitaxial sobre un sustrato 20. Entre la célula (n)-ésima 16 con $m > n$ y la célula ($n+1$)-ésima 18 está incorporado un espejo semiconductor 22 que se ha depositado conjuntamente durante la epitaxia de la estructura de la célula solar. Como procedimiento de epitaxia adecuado se consideran aquellos que son adecuados para depositar numerosas capas de materiales diferentes. A modo de ejemplo, se pueden mencionar MOVPE, MBE (epitaxia de haz molecular) o VPE (epitaxia en fase vapor), sin que se produzca con ello una limitación de las enseñanzas según la invención.

La célula solar múltiple 10 es, en particular, una célula solar triple, estando constituida la célula superior por $\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{P}$, la célula intermedia por $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$ y la célula inferior por Ge. El espejo semiconductor 22 constituido por varias capas está incorporado particularmente entre la célula inferior de Ge y la célula intermedia de $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$. A este respecto, la construcción de capa es de modo tal que al menos dos capas estén constituidas por materiales diferentes, tengan espesores distintos entre sí y tengan índices de refracción diferentes.

Por medio de la elección de los materiales, los espesores de capa y los índices de refracción se obtiene en el caso ideal un comportamiento de reflexión como el que se puede observar de la Fig. 2. De este modo se obtiene para energías superiores a la energía de banda prohibida de la subcélula n -ésima una reflexión máxima, es decir en el ejemplo de realización de la célula triple con una célula intermedia de $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$ para una energía de banda prohibida $> 1,4$ eV o 880 nm una reflexión máxima. Para energías inferiores a la energía de banda prohibida de la célula n -ésima, la reflexión es mínima o la transmisión es máxima. A este respecto, pueden evitarse o hacerlas despreciables pérdidas de transmisión mediante la absorción en el espejo semiconductor por medio de la elección de materiales adecuados, por ejemplo GaAs y AlGaAs.

La capa más superior del espejo semiconductor 22 puede estar constituida por GaInP y simultáneamente el campo de la cara posterior para la célula intermedia dispuesta por encima del mismo ser $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$. A este respecto se usa GaInP como material, dado que este presenta propiedades muy buenas como pasivación de cara posterior. Las capas restantes del espejo semiconductor 22 están constituidas en el ejemplo de realización por tres materiales diferentes: $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$, $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ y $\text{Al}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{As}$. Este constituye una diferencia esencial con el reflector de Bragg clásico, que está constituido solo por dos materiales diferentes. Adicionalmente se usan en el ejemplo espesores de capa diferentes, mientras que en el reflector de Bragg clásico todas las capas de un material presentan el mismo espesor.

Otra característica esencial de la disposición de capas del espejo semiconductor 22 es que está, por una parte, logra una alta reflexión para energías superiores al borde de banda de la subcélula dispuesta sobre el mismo, pero por otra parte también posee una reflexión reducida o una transmisión alta para energías inferiores. Como ilustración, en la Fig. 3 se logra la reflexión calculada del espejo semiconductor en la superficie límite de la subcélula de $\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}$ dispuesta por encima del mismo. Para longitudes de onda entre 800 nm y 900 nm se logra una reflexión alta. Para longitudes de onda superiores a 900 nm la reflexión es, por el contrario, reducida. Esta es una propiedad importante del espejo semiconductor para asegurar que la generación de corriente en la célula inferior de Ge no se reduzca esencialmente por medio del espejo semiconductor.

40

REIVINDICACIONES

1. Célula solar múltiple monolítica (10) constituida esencialmente por elementos de los grupos principales III y V del sistema periódico, comprendiendo la célula solar múltiple (10) al menos tres subcélulas (12, 14, 16, 18) y estando construida sobre un sustrato de Ge
- 5 caracterizada porque
- una de las subcélulas (12, 14, 16, 18) de la célula solar múltiple (10) es del grupo de GaInNAs y está dispuesto un espejo semiconductor (22) entre dos subcélulas (16, 18), estando incorporado el espejo (22) por debajo de la subcélula de GaInNAs (16) y
- 10 porque el espejo semiconductor (22) presenta varias capas con índices de refracción y/o composiciones de materiales y/o espesores diferentes entre sí, y
- siendo el espesor d de las capas del espejo semiconductor (22) $10 \text{ nm} \leq d \leq 150 \text{ nm}$ y el espejo semiconductor (22) consiste en n capas, con $10 \leq n \leq 50$ y la semianchura HWB del espejo semiconductor (22) es $50 \text{ nm} \leq \text{HWB} \leq 150 \text{ nm}$, y el espejo semiconductor presenta en una parte del intervalo de absorción espectral de la subcélula (16) o subcélulas (12, 14, 16) dispuestas por encima del espejo semiconductor un grado de reflexión elevado y en el
- 15 intervalo de absorción espectral de la subcélula (18) o subcélulas dispuestas por debajo del espejo semiconductor un grado de transmisión elevado.
2. Célula solar múltiple según la reivindicación 1, caracterizada porque las capas del espejo semiconductor (22) están constituidas por semiconductores compuestos del grupo principal III y V del sistema periódico o contienen los mismos y están dopadas, en particular, con Si, Te, Zn, C, Mg y/o Se.
- 20 3. Célula solar múltiple según la reivindicación 1 o 2, caracterizada porque la capa del espejo semiconductor (22) formada directamente debajo de la subcélula (16) dispuesta por encima del mismo forma el campo de la cara posterior de la subcélula, que está constituida, en particular, por AlGaInP.
4. Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la capa o las capas del espejo semiconductor (22) que están dispuestas directamente por debajo de la subcélula (16) siguiente
- 25 están adaptadas a retícula a 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 banda prohibida de igual magnitud o superior que la subcélula (16) dispuesta por encima del mismo.
6. Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque las capas del
- 30 espejo semiconductor (22) están constituidas por semiconductores compuestos en forma de material de AlGaInAs y/o material de AlGaInP, en la que, en particular, el material de AlGaInAs incluye GaAs, InAs, AlAs, GaInAs AlGaAs, AlInAs y/o el material de AlGaInP incluye GaP, InP AlP, GaInP y/o AlInP.
7. Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el espejo
- 35 semiconductor (22) está constituido por al menos tres capas con un índice de refracción diferente y/o por al menos tres capas con composición diferente y/o con espesor diferente.
8. Célula solar múltiple según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el espejo semiconductor (22) presenta un espesor total D de $500 \text{ nm} \leq D \leq 4000 \text{ nm}$ y el espejo semiconductor está constituido por n capas con $15 \leq n \leq 35$.
9. Célula solar múltiple según la reivindicación 8, caracterizada porque el espejo semiconductor (22) presenta un
- 40 espesor total D de $750 \text{ nm} \leq D \leq 2500 \text{ nm}$.
10. Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la célula solar cuádruple es una célula solar múltiple de AlGaInP/GaInAs/GaInNAs/Ge.
11. Célula solar múltiple según la reivindicación 10, caracterizada porque están incorporados varios espejos
- 45 semiconductores (22).
12. Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la célula solar séxtuple es una células solar múltiple de AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/GaInNAs/Ge.
13. Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el grado de reflexión R del espejo semiconductor (22) de la radiación en una parte del intervalo de absorción espectral de la subcélula (16) o las subcélulas (12, 14, 16) dispuestas por encima del espejo semiconductor asciende a $0,7 \leq R \leq 1$.
- 50 14. Célula solar múltiple según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el grado de transmisión T del espejo semiconductor (22) de la radiación en el intervalo de absorción espectral de la subcélula o

las subcélulas dispuestas por debajo del espejo semiconductor asciende a $0,8 \leq T \leq 1$.

15. Célula solar múltiple según la reivindicación 12, caracterizada porque están incorporados varios espejos semiconductores (22).

FIGURAS

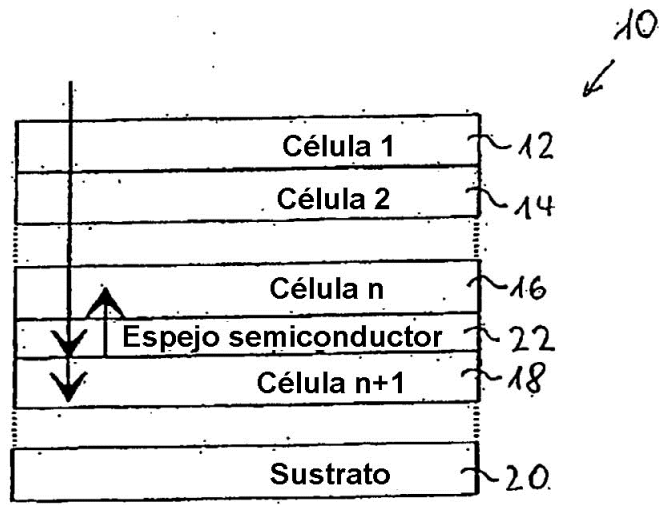


Fig. 1.

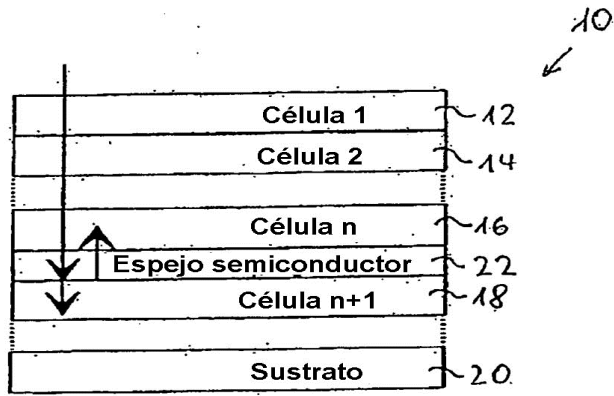


Fig. 1.

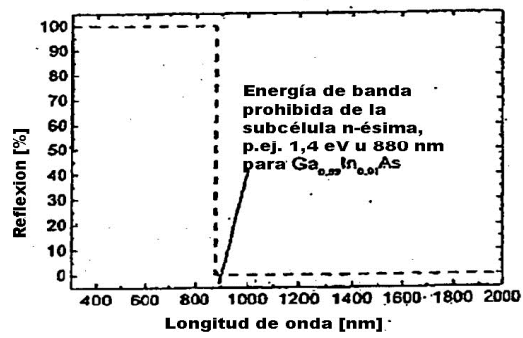


Fig. 2

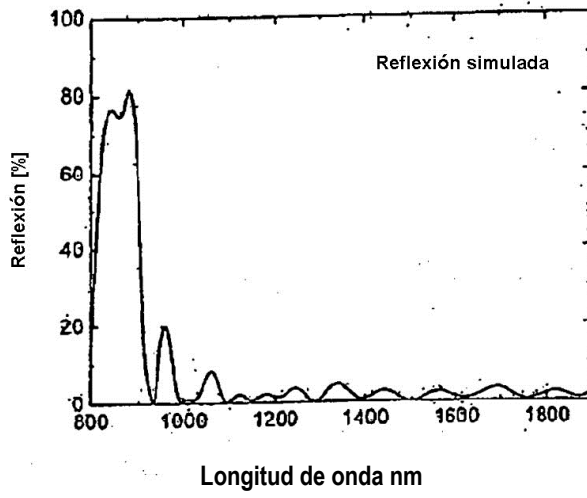


Fig. 3