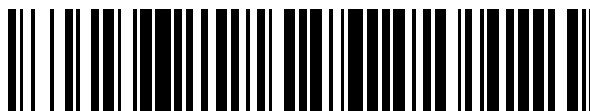


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 215**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0687 (2012.01)

H01L 31/0304 (2006.01)

H01L 21/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2014 E 14000912 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2019 EP 2919276**

54 Título: **Célula solar múltiple**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.03.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**GUTER, WOLFGANG;
MEUSEL, MATTHIAS;
DIMROTH, FRANK;
EBEL, LARS y
KELLENBENZ, RENÉ**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 749 215 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

La invención se refiere a una célula solar múltiple según el preámbulo de la reivindicación 1.

5 Por el documento "Current-matched triple-junction solar cell reaching 41.1% conversion efficiency under concentrated sunlight" de Guter *et al.*, Applied Physics Letters 94, 223504 (2009)] se conoce una célula solar múltiple (en inglés *multi-junction solar cell*). En el caso de la estructura dada a conocer se trata de una célula solar triple de $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}/\text{Ge}$ metamórfica con una alta eficiencia. Entre el sustrato de Ge o la célula parcial de Ge y la célula parcial de $\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}$ se usa en este caso un tampón metamórfico de $\text{Ga}_y\text{In}_{1-y}\text{As}$. El tampón metamórfico está compuesto en este caso por siete capas de GaInAs de 200 nm de grosor con un contenido en indio que crece gradualmente, aumentando al mismo tiempo también la constante de red. En la última capa del tampón, la denominada capa de exceso (en inglés *overshoot*), se usa en este caso un mayor contenido en indio del 20 % o una mayor constante de red que en la célula parcial de $\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}$ que se encuentra por encima. Esto es necesario, para establecer la tensión, que conduce a la relajación de las capas subyacentes del tampón metamórfico hasta la constante de red deseada.

15 Por el documento US 2012/240987 A1 y por "Bett A. W. *et al.*: "HIGHEST EFFICIENCY MULTI-JUNCTION SOLAR CELL FOR TERRESTRIAL AND SPACE APPLICATIONS", Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 21-25 de septiembre de 2009, páginas 1-6, Hamburgo, Alemania, ISBN: 978-3-9363338-25-6 y por el documento US 2012/138130 A1 y por Friedman D J *et al.*: "0.7-eV GaInAs junction for a $\text{GaInP}/\text{GaAs}/\text{GaInAs}(1\text{eV})/\text{GaInAs}(0.7\text{eV})$ four-junction solar cell", Conference record of the 2006 IEEE 4th world conference on photovoltaic energy conversion, IEEE, mayo de 2006, páginas 598-602, ISBN: 978-1-4244-0016-4 y por Dimroth F. *et al.*: Metamorphic $\text{GaIn}_{1-y}\text{P}/\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$ tandem solar cells for space and for terrestrial concentrator applications at $C > 1000$ suns, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, John Wiley & Sons, LTD, tomo 9, n.º 3, mayo de 2001, páginas 165-178, ISSN: 1062-7995 y por Takuo Sasaki *et al.*: "Real-Time structural 1,6 Analysis of compositionally graded $\text{InGaAs} / \text{GaAs} (0 \ 0 \ 1)$ Layers", IEEE Journal of photovoltaics, tomo 2, n.º 1, 30 de enero de 2012, páginas 35-40, ISSN: 2156-3381, y por el documento EP 0 353 432 A2 y por "Investigation and development of III-V triple-junction concentrator solar cells", W. Guter *et al.*, Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2007, páginas 122-125, XP040512959, Milán-Italia, ISBN: 978-3-936338-22-5 y por "Kontrolle von Spannungsrelaxation und Defektbildung in metamorphen III-V Halbleiterheterostrukturen für hocheffiziente células solares", Jan Schöne, tesis doctoral, 2009, páginas 1-146, XP 055528372 se conocen células solares múltiples parcialmente con tampones metamórficos.

Además por el documento "Evolution of a 2.05 eV AlGaInP top sub-cell for 5 and 6J-IMM applications" de Cornfield *et al.*, páginas 2788 - 2791, en: Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2012 38th IEEE, ISBN: 978-1-4673-0064-3, se conoce una configuración de tampones metamórficos en células solares múltiples invertidas (en inglés *inverted metamorphic*, IMM) con hasta seis células parciales. Además, por el documento EP 225 1912 A1 se conoce una estructura de diodo túnel con capas con diferente tensión y varias células solares y un tampón metamórfico.

Por el documento EP 265 093 0 A1 se conoce una célula sola cuádruple compuesta por una célula sola doble de GaInP/GaAs superior unida (en inglés *bonded*) sobre una célula solar doble GaInAs/Ge metamórfica inferior.

Por motivos de completitud debe indicarse que en el presente documento por el término célula solar múltiple metamórfica se entienden células solares múltiples que presentan al menos una capa tampón metamórfica entre dos células parciales (en inglés *subcell*) del apilamiento de células solares. Por lo demás debe indicarse que en la epitaxia de células solares múltiples III-V se usan denominados tampones metamórficos, para poder depositar sobre estos tampones capas semiconductoras con alta calidad de materiales con constante de red mayor que la del sustrato. Es decir, mediante el tampón metamórfico se forma en el transcurso de la epitaxia un denominado sustrato virtual con constante de red mayor que la del sustrato original. Capas semiconductoras con la misma constante de red que la del sustrato virtual pueden depositarse a continuación con alta calidad. Con la utilización de los tampones metamórficos se posibilita un margen mayor en la elección de los materiales para las diferentes células parciales en las células solares múltiples. En particular, de este modo pueden implementarse combinaciones de materiales, que prometen una mayor eficiencia de la célula solar múltiple.

Un problema en el uso de los tampones metamórficos es la tensión residual inherente. Según la flexibilidad del sustrato usado, la tensión residual conduce a una curvatura no deseada del disco semiconductor (en inglés *wafer*). En particular, en la producción sobre los sustratos de Ge habituales con un grosor de menos de 190 μm se obtienen, por ejemplo, efectos de curvatura significativos.

Una curvatura del disco semiconductor conduce, entre otros, ya durante la epitaxia debido a efectos de temperatura a propiedades de capa heterogéneas. Además se dificulta el procesamiento de tales discos semiconductores y se reduce el rendimiento y de este modo aumentan claramente los costes de producción. Además, una curvatura en el caso de células solares aeroespaciales con áreas típicas de más de 20 cm^2 conduce a propiedades de producto no deseadas.

Ante este trasfondo, el objetivo de la invención consiste en indicar un dispositivo que perfeccione el estado de la

técnica.

El objetivo se alcanza mediante una célula solar múltiple con las características de la reivindicación 1. Configuraciones ventajosas de la invención son el objeto de reivindicaciones dependientes.

5 Según el objeto de la invención se proporciona una célula solar múltiple que presenta una célula solar múltiple que presenta una primera célula parcial de un compuesto de InGaAs, presentando la primera célula parcial una primera constante de red, y estando prevista una segunda célula parcial con una segunda constante de red, siendo la primera constante de red al menos 0,008 Å mayor que la segunda constante de red, y estando previsto por lo demás un tampón metamórfico, estando configurado el tampón entre la primera célula parcial y la segunda célula parcial, y presentando el tampón metamórfico una sucesión de al menos tres capas y aumentando la constante de red en la sucesión en la dirección hacia la primera célula parcial de capa a capa y siendo las constantes de red de las capas del tampón mayores que la segunda constante de red y presentando una capa del tampón metamórfico una tercera constante de red y siendo la tercera constante de red mayor que la primera constante de red, y estando configuradas entre el tampón metamórfico y la primera célula parcial un número N de capas de compensación para la compensación de la tensión residual del tampón metamórfico y siendo las constantes de red de las respectivas capas de compensación una magnitud de $\Delta A_n > 0,0008 \text{ \AA}$ menor que la primera constante de red, y presentando las capas de compensación un contenido en indio mayor del 1 %, y seleccionándose los grosores del número N de las capas de compensación de tal manera que se cumple:

$$\sum_{n=1}^N (K_{\text{OMD}_n} \times \Delta A_n) > 10^{-19} \text{ m}^2$$

20 Debe indicarse que un esfuerzo de tracción conduce a una curvatura convexa y de manera correspondiente un esfuerzo de compresión conduce a una curvatura cóncava del sustrato semiconductor o del disco semiconductor y la célula solar múltiple está compuesta preferiblemente de un material semiconductor III-V. A este respecto, por el término esfuerzo de tracción se entiende una tensión de tracción y por el término esfuerzo de compresión una tensión de compresión. Por lo demás debe indicarse que el número N comprende la cantidad de los números naturales sin el cero o, expresado de otro modo, que está configurada al menos una capa de compensación.

25 Una ventaja de la configuración de una capa de compensación o de varias capas de compensación es que de este modo puede reducirse claramente una curvatura del disco semiconductor, en particular provocada por el tampón metamórfico. Estudios han mostrado que mediante la incorporación de la capa de compensación puede aumentarse el rendimiento en la producción de la célula solar múltiple y pueden reducirse los costes de producción. Además, resulta ventajoso configurar la capa de compensación tras la última capa del tampón metamórfico y preferiblemente antes de la deposición de la siguiente célula parcial. Expresado de otro modo, resulta ventajoso configurar la capa de compensación tras la denominada capa "overshoot" del tampón. A este respecto, por ejemplo, una conformación ventajosa desde el punto de vista de un consumo de material reducido consiste en unir la capa de compensación con adherencia de materiales con la última capa del tampón metamórfico. Además, debe indicarse que según la fórmula expuesta anteriormente la magnitud de la compensación como magnitud de la realimentación de la tensión depende directamente de la diferencia en la constante de red de la capa de compensación en comparación con la primera constante de red multiplicada por el grosor de la capa de compensación. Estudios del solicitante han mostrado que es necesario un cierto grado de tensión de compensación, para conseguir una reducción significativa de la curvatura de oblea. Es deseable conseguir una reducción de la tensión en al menos el 20 %.

40 Por motivos de completitud debe indicarse que la constante de red de una célula parcial está equiparada con la constante de red de una capa más gruesa de la célula parcial. Normalmente, en el caso de la capa más gruesa de la célula parcial se trata de una de las capas absorbedoras de la célula parcial. En el caso de células solares múltiples industriales, que presentan convencionalmente una polaridad n-sobre-p, la capa más gruesa es normalmente la capa de base dopada positivamente de la transición pn de la respectiva célula parcial.

45 Además, la inserción de las capas de compensación de tensión tiene la ventaja de que la constante de red del denominado sustrato virtual formado por el tampón metamórfico tras la deposición de las capas de compensación de tensión está en su mayor parte "congelada". Sin las capas de compensación de tensión, desviaciones no intencionadas o fluctuaciones de producción en la composición de las capas depositadas a continuación, en particular de las capas absorbedoras relativamente gruesas de las células parciales, pueden conducir a una tensión compresiva adicional y de este modo a una relajación adicional de las capas del tampón metamórfico. Esto significaría un aumento no deseado de la constante de red del sustrato virtual. Sin embargo, mediante la inserción de las capas de compensación de tensión puede reducirse enormemente la tensión residual del tampón metamórfico, de modo que se reduce claramente la probabilidad de una relajación adicional no intencionada del tampón metamórfico. Por consiguiente, la inserción de las capas de compensación de tensión posibilita también una mayor ventana de proceso o una mayor tolerancia del proceso de deposición con respecto a fluctuaciones de producción en la composición de las capas depositadas sobre el tampón metamórfico.

5 En un perfeccionamiento, los grosores del número N de las capas de compensación son en total, es decir en suma, mayores de 150 nm. Estudios han mostrado que con un grosor total por encima de 150 nm puede realizarse una compensación notable de la tensión del tampón metamórfico. Resulta ventajoso que las constantes de red del respectivo número N de las capas de compensación sean al menos una magnitud de $\Delta A_N > 0,002 \text{ \AA}$ menores que la primera constante de red. Estudios han mostrado que con $\Delta A_N < 0,002 \text{ \AA}$ es necesario un grosor total tan alto de las capas de compensación para la implementación de una compensación lo más alta posible, que la rentabilidad de la producción de la célula solar se vea influida significativamente de manera negativa.

10 En una forma de realización alternativa la magnitud es $\Delta A_N < 0,002 \text{ \AA}$, estando configuradas las capas de compensación de tensión al mismo tiempo como capas de un espejo semiconductor o de Bragg. A este respecto, expresado de otro modo, las capas de compensación de tensión presentan una función doble.

En otra forma de realización se mostró que los grosores del número N de las capas de compensación se seleccionan de tal manera que se cumple:

$$\sum_{n=1}^N (K O M D_n \times \Delta A_n) > 2 * 10^{-19} \text{ m}^2$$

15 En particular con un aumento en la diferencia de las constantes de red pueden conseguirse de este modo con grosores de capa por debajo de $1 \mu\text{m}$ una compensación de al menos el 20 % del esfuerzo de tracción generado principalmente por el tampón.

En otro perfeccionamiento, los grosores del número N de las capas de compensación se seleccionan de tal manera que se cumple

$$\sum_{n=1}^N (K O M D_n \times \Delta A_n) < 5 * 10^{-19} \text{ m}^2$$

20 Estudios han mostrado que por encima del valor aumenta enormemente la probabilidad de una formación de grietas en las capas de compensación.

25 Según la invención, las capas de compensación presentan en cada caso una tensión de tracción, de modo que la constante de red lateral (en inglés *in-plane lattice constant*) de la capa de compensación es mayor que la constante de red vertical (en inglés *out-of-plane lattice constant*). Por constante de red lateral, en el presente documento quiere decirse la constante de red en la dirección de la superficie de extensión principal de la capa de compensación. Expresado de otro modo, la capa de compensación individual presenta en cada caso una constante de red anisotrópica. En una forma de realización alternativa, las capas de compensación presentan en cada caso un compuesto de GaAs o GaInAs o AlGaInAs o GaInP o AlGaInP o GaAsP o GaInAsP.

30 En un perfeccionamiento, el contenido en indio de las capas de compensación es un 0,2 % o un 0,5 % menor que el contenido en indio de la primera célula parcial. Se entiende que el nivel del contenido en indio ejerce una influencia esencial sobre las constantes de red. Por lo demás resulta ventajoso dopar una parte de las capas de compensación o todas las capas de compensación con Zn. Resulta especialmente ventajoso que el dopado con cinc ascienda a más de 10^{14} cm^{-3} .

35 En otro perfeccionamiento, una parte de las capas de compensación o todas las capas de compensación están configuradas como parte del espejo semiconductor. Resulta ventajoso que con la funcionalidad doble de las capas puede reducirse el grosor total de la célula solar múltiple. En una forma de realización preferida, la segunda célula parcial presenta germanio. Además está prevista una tercera célula parcial, presentando la tercera célula parcial un compuesto de GaInP. Además resulta ventajoso configurar entre la tercera célula parcial y la primera célula parcial una cuarta célula parcial, comprendiendo la cuarta célula parcial un compuesto de GaAs o InGaAs o uno de AlGaInAs.

40 Estudios han mostrado que las células parciales pueden configurarse tanto en una disposición erguida como en una disposición invertida. A este respecto, por disposición erguida se entiende que la célula parcial depositada en último lugar durante el proceso de producción epitáctico es la célula parcial superior de la célula solar múltiple. En el presente documento, por célula parcial superior se entiende aquella célula parcial, que está dispuesta más cerca del sol y presentan el mayor hueco de banda de todas las células parciales. Por disposición invertida se entiende que la célula parcial depositada en primer lugar durante el proceso de producción epitáctico es la célula parcial superior de la célula solar múltiple. Expresado de otro modo, en el caso de la disposición erguida, la primera célula parcial con la

mayor constante de red presenta un mayor hueco de banda que el hueco de banda de la segunda célula parcial con la constante de red menor. En el caso de la disposición invertida, la primera célula parcial con la constante de red mayor presenta un hueco de banda menor que el hueco de banda de la segunda célula parcial con la constante de red menor.

- 5 En otra forma de realización, en una disposición de cuatro células parciales están configurados en cada caso dos pares de células parciales, existiendo entre los dos pares de células parciales una unión con adherencia de materiales mediante un enlace semiconductor directo. A este respecto, resulta especialmente ventajoso que tenga lugar la compensación de la tensión de la red, dado que el proceso de enlace solo presenta una tolerancia reducida con respecto a una curvatura de las obleas o discos semiconductores que deben unirse entre sí. En una forma de
10 realización resulta especialmente ventajoso que la célula solar múltiple sea una célula solar cuádruple de GaInP/GaAs/GaInAs/Ge, compuesta por dos células solares dobles unidas entre sí mediante un enlace semiconductor directo, de las que una es una célula solar doble GaInAs/Ge metamórfica erguida.

- 15 En otra forma de realización está configurado un segundo o tercer tampón metamórfico, estando configuradas con los tampones individuales en cada caso capas de compensación adicionales, es decir segundas o terceras, y estando configurada cada una de las capas de compensación entre un tampón metamórfico y la célula parcial adyacente con la constante de red mayor. Por lo demás debe indicarse que las capas de compensación no forman parte de una transición p-n de un diodo túnel.

- 20 La invención se explicará a continuación más detalladamente haciendo referencia a los dibujos. A este respecto, las partes similares se identifican con designaciones idénticas. Las formas de realización representadas están muy esquematizadas, es decir las distancias y las extensiones laterales y las verticales no son a escala y tampoco presentan, siempre que no se indique lo contrario, ninguna relación geométrica deducible entre sí. En ellos muestran:

- la figura 1a una sección transversal de una primera forma de realización según la invención de una célula solar múltiple,
25 la figura 1b la evolución de la constante de red, en función de la secuencia de capas de la estructura de célula solar representada en la figura 1a,
la figura 1c la evolución de la constante de red lateral, en función de la secuencia de capas de la estructura de célula solar representada en la figura 1a,
la figura 1d la evolución de la constante de red vertical, en función de la secuencia de capas de la estructura
30 de célula solar representada en la figura 1a,
la figura 2 una sección transversal de una segunda forma de realización según la invención como célula triple,
la figura 3 una sección transversal de una tercera forma de realización según la invención como célula solar cuádruple.

- 35 La representación de la figura 1a muestra una sección transversal de una primera forma de realización según la invención de una célula solar múltiple MS con una primera célula parcial SC1. La primera célula parcial SC1 se apoya sobre una única capa de compensación KOM1. Sin embargo, debe indicarse que en una forma de realización alternativa no representada en lugar de una única capa de compensación está configurado un gran número de N capas de compensación individuales. Además, la capa de compensación KOM1 se apoya sobre un tampón metamórfico MP1, apoyándose el tampón MP1 sobre una segunda célula parcial SC2. El tampón presenta una
40 sucesión de capas no representadas.

- En la representación de la figura 1b se ilustra la evolución de la constante de red A en función de la secuencia de capas de la estructura de célula solar, representada en la figura 1a. A continuación se explicarán solo las diferencias con respecto a la representación de la figura 1a. Debe indicarse que en el presente documento por constante de red
45 A se entiende siempre la denominada constante de red natural. La segunda célula parcial SC2 presenta una segunda constante de red ASC2. Sobre la segunda célula parcial SC2 está dispuesta una sucesión de una primera capa con una constante de red MPA1 y una segunda capa con una constante de red MPA2 y una tercera capa con una constante de red MPA3 y una cuarta capa con una cuarta constante de red MPA4. Se muestra que las constantes de red MPA1, MPA2, MPA3 y MPA4 aumentan en la sucesión de las capas de capa a capa, siendo todas
50 las constantes de red MPA1, MPA2, MPA3 y MPA4 de la sucesión mayores que la segunda constante de red ASC2. Por lo demás, la cuarta constante de red MPA4 es mayor que la primera constante de red ASC1. De este modo, la cuarta capa se denomina también capa "overshoot". La capa de compensación KOM1 presenta una constante de red A1 menor que la primera constante de red ASC1. Se entiende que la capa "overshoot" está tensada por compresión y ejerce una tensión sobre el disco semiconductor.

- 55 Solo con la inserción de la capa de compensación KOM1 y la configuración de una constante de red A1 menor en comparación con la primera constante de red ASC1 puede conseguirse una compensación, es decir una reducción

de la tensión de red. A este respecto, la magnitud de la reducción es tanto mayor cuanto mayor sea el grosor $KOMD_1$ de la capa de compensación $KOM1$ y cuanto mayor sea la diferencia de la constante de red $A1$ de la capa de compensación $KOM1$ en comparación con la primera constante de red $ASC1$. La evolución de la tensión de red se ilustrará a continuación mediante la evolución de una constante de red lateral (*in-plane*) AL y la evolución de una constante de red vertical (*out-of-plane*) AV .

La representación de la figura 1c muestra la evolución de una constante de red lateral AL para la secuencia de capas de la estructura de célula solar, representada en la figura 1a. Por lo demás, en la representación de la figura 1d se muestra la evolución de una constante de red vertical AV para la secuencia de capas de la estructura de célula solar, representada en la figura 1a. A continuación se expondrán solo las diferencias con respecto a las explicaciones de las figuras anteriores. Se muestra que a partir de la evolución de la constante de red lateral AL y a partir de la evolución de la constante de red vertical AV puede interpretarse más exactamente la evolución de la tensión de red para la estructura de célula solar. La segunda célula parcial $SC2$ presenta una segunda constante de red lateral $ASC2L$. Sobre la segunda célula parcial $SC2$ está configurada la sucesión de una primera capa con una constante de red lateral $MPA1L$ y una segunda capa con una constante de red lateral $MPA2L$ y una tercera capa con una constante de red lateral $MPA3L$ y una cuarta capa con una cuarta constante de red lateral $MPA4L$, presentando la constante de red lateral $MPA3L$ de la tercera capa la misma magnitud que la cuarta constante de red lateral $MPA4L$. Se muestra que las constantes de red laterales $MPA1L$, $MPA2L$ y $MPA3L$ aumentan en la sucesión de las capas de capa a capa, siendo todas las constantes de red laterales $MPA1L$, $MPA2L$ y $MPA3L$ o $MPA4L$ de la sucesión mayores que la segunda constante de red lateral $ASC2L$. A continuación, la capa de compensación $KOM1$ presenta una cuarta constante de red lateral $A1L$ y la primera célula parcial $SC1$ una primera constante de red lateral $SC1L$, coincidiendo la cuarta constante de red lateral $A1L$ y la primera constante de red lateral $SC1L$ y la constante de red lateral $MPA3L$ y la constante de red lateral $MPA4L$ de la tercera capa y de la cuarta capa.

La segunda célula parcial $SC2$ presenta una segunda constante de red vertical $ASC2V$. Sobre la segunda célula parcial $SC2$ está dispuesta una sucesión de una primera capa con una constante de red vertical $MPA1V$ y una segunda capa con una constante de red vertical $MPA2V$ y una tercera capa con una constante de red vertical $MPA3V$ y una cuarta capa con una cuarta constante de red vertical $MPA4V$. Se muestra que las constantes de red verticales $MPA1V$, $MPA2V$, $MPA3V$ y $MPA4V$ aumentan en la sucesión de las capas de capa a capa, siendo todas las constantes de red $MPA1V$, $MPA2V$, $MPA3V$ y $MPA4V$ de la sucesión mayores que la segunda constante de red vertical $ASC2V$. Por lo demás, la primera célula parcial $SC1$ presenta una primera constante de red vertical $SC1AV$, siendo la primera constante de red vertical $SC1AV$ mayor que la segunda constante de red vertical $ASC2V$. Además, la cuarta constante de red vertical $MPA4V$ es mayor que la primera constante de red vertical $ASC1V$. Sin embargo, la capa de compensación $KOM1$ presenta una constante de red vertical $A1V$ menor que la primera constante de red vertical $SC1AV$. En la comparación de la evolución de la constante de red vertical AV con la evolución de la constante de red A esto significa que las diferencias en las constantes de red verticales, siempre que existan, son esencialmente mayores que en la evolución de las constantes de red naturales A . Se indica que la tensión residual del tampón metamórfico según la invención se compensa al menos parcialmente mediante una o varias capas de compensación de tensión. Para ello, la capa de compensación de tensión presenta una constante de red que es menor que la constante de red de la primera célula parcial $SC1$. Además, la capa de compensación de tensión presenta una tensión de tracción.

La representación de la figura 2 muestra una sección transversal de una segunda forma de realización según la invención en forma de una célula solar triple, teniendo lugar una incidencia de luz L a través de una capa antirreflectante AR . A continuación se explicarán solo las diferencias con respecto a la representación de las figuras anteriores. La segunda célula parcial $SC2$ está unida preferiblemente con adherencia de materiales en el lado inferior con una capa de metal $M2$. Entre la segunda célula parcial $SC2$ y un diodo túnel inferior UT están configuradas además diferentes capas de nucleación y/o capas tampón sencillas. El diodo túnel superior OT está configurado entre una tercera célula parcial $SC3$ y entre la primera célula parcial $SC1$. Apoyadas sobre la tercera célula parcial $SC3$ están dispuestas una capa antirreflectante AR y una capa de mediación de contacto $K1$ y una primera capa de metal $M1$. Al encontrarse el diodo túnel inferior UT por debajo del tampón metamórfico $MP1$, esto significa en el contexto de que se configura un apilamiento de células solares que presenta polaridad n-sobre-p, que el tampón metamórfico $MP1$ y la capa de compensación de tensión $KOM1$ están dopados positivamente. Se prefiere realizar la célula solar triple como célula solar triple de $GaN/P/GaNAs/Ge$ metamórfica erguida. En una forma de realización no representada, la célula solar triple comprende un espejo semiconductor. Preferiblemente, el espejo semiconductor está configurado entre la primera célula parcial $SC1$ y la segunda célula parcial $SC2$.

La representación de la figura 3 muestra una sección transversal de una tercera forma de realización según la invención en forma de una célula solar cuádruple. A continuación se explicarán solo las diferencias con respecto a las representaciones de las figuras anteriores. Preferiblemente, la célula solar cuádruple comprende una secuencia de compuestos de $AlGaN/P/AlGaNAs/GaNAs/Ge$, estando dispuesto el compuesto de $AlGaN/P$ como célula parcial superior, dirigida hacia la luz incidente L . Entre la primera célula parcial $SC1$ y la capa de compensación $KOM1$ está configurado un espejo semiconductor HSP . Además, entre la primera célula parcial $SC1$ y la cuarta célula parcial $SC4$ está configurado un diodo túnel central MT . Por lo demás, entre la primera célula parcial $SC1$ y la tercera célula parcial $SC3$ está configurada una cuarta célula parcial $SC4$.

REIVINDICACIONES

1. Célula solar múltiple (MS) que presenta una primera célula parcial (SC1) compuesta por un compuesto de InGaAs, presentando la primera célula parcial (SC1) una primera constante de red (ASC1), y
- 5 una segunda célula parcial (SC2) con una segunda constante de red (ASC2), siendo la primera constante de red (ASC1) al menos 0,008 Å mayor que la segunda constante de red (ASC2), y
- 10 presentando cada célula parcial (SC1, SC2) una transición pn, y un tampón metamórfico (MP1), estando configurado el tampón (MP1) entre la primera célula parcial (SC1) y la segunda célula parcial (SC2) y presentando el tampón (MP1) una sucesión de una primera capa con una primera constante de red (MPA1), una segunda capa con una segunda constante de red (MPA2) y al menos una tercera capa con una tercera constante de red (MPA3) y aumentando las constantes de red (MPA1, MPA2, MPA3) de la sucesión en la dirección hacia la primera célula parcial (SC1) de capa a capa y siendo las constantes de red (MPA1, MPA2, MPA3) de las capas del tampón mayores que la segunda constante de red (ASC2),
- 15 presentando una cuarta capa del tampón metamórfico una cuarta constante de red (MPA4) y siendo la cuarta constante de red (MPA4) mayor que la primera constante de red (ASC1), y

estando configuradas entre el tampón metamórfico (MP1) y la primera célula parcial (SC1) un número N de capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) para la compensación de la tensión residual del tampón metamórfico (MP1) y siendo las constantes de red (A1, A2, AN) de las respectivas capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) una magnitud de $\Delta A_n > 0,0008 \text{ \AA}$ menores que la primera constante de red (ASC1), presentando las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) en cada caso una tensión de tracción, y presentando las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) un contenido en indio mayor del 1 %, y seleccionándose los grosores (KOMD1, KOMD2, KOMDN) del número N de las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) de tal manera que se cumple:

$$\sum_{n=1}^N (KOMD_n \times \Delta A_n) > 10^{-19} \text{ m}^2$$

2. Célula solar múltiple (MS) según la reivindicación 1, caracterizada por que el grosor total (KOMD1, KOMD2, KOMDN) del número N de las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) es en general mayor de 150 nm.
3. Célula solar múltiple (MS) según la reivindicación 1 o reivindicación 2, caracterizada por que las constantes de red (A1, A2, AN) del respectivo número N de las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) son al menos una magnitud de $\Delta A_n > 0,002 \text{ \AA}$ menores que la primera constante de red (ASC1).
4. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que los grosores (KOMD1, KOMD2, KOMDN) del número N de las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) se seleccionan de tal manera que se cumple

$$\sum_{n=1}^N (KOMD_n \times \Delta A_n) > 2 * 10^{-19} \text{ m}^2$$

5. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que los grosores (KOMD1, KOMD2, KOMDN) del número N de las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) se seleccionan de tal manera que se cumple

$$\sum_{n=1}^N (KOMD_n \times \Delta A_n) < 5 * 10^{-19} \text{ m}^2$$

6. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que las capas de

compensación (KOM1, KOM2, KOMN) presentan en cada caso un compuesto de GaAs o GaInAs o AlGaInAs o GaInP o AlGaInP o GaAsP o GaInAsP.

- 5 7. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el contenido en indio de las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) es al menos el 0,2 % o al menos el 0,5 % menor que el contenido en indio de la primera célula parcial (SC1).
8. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una parte de o todas las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) están dopadas con Zn.
- 10 9. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una parte de las capas de compensación (KOM1, KOM2, KOMN) están configuradas como parte de un espejo semiconductor.
10. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la segunda célula parcial (SC2) contiene germanio y está prevista una tercera célula parcial (SC3) y la tercera célula parcial (SC3) presenta un compuesto de GaInP.
- 15 11. Célula solar múltiple (MS) según la reivindicación 11, caracterizada por que entre la tercera célula parcial (SC3) y la primera célula parcial (SC1) está configurada una cuarta célula parcial (SC4) y la cuarta célula parcial (SC4) comprende un compuesto de GaAs o InGaAs o uno de AlGaInAs.
12. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que las células parciales (SC1, SC2, SC3, SC4) están configuradas en una disposición erguida o en una disposición invertida.
- 20 13. Célula solar múltiple (MS) según la reivindicación 12, caracterizada por que en el apilamiento de células solares con cuatro células parciales (SC1, SC2, SC3, SC4) están configurados en cada caso dos pares de células parciales (SC1, SC2, SC3, SC4) y los dos pares de células parciales (SC1, SC2, SC3, SC4) configuran una unión con adherencia de materiales, por medio de un enlace semiconductor directo.
- 25 14. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que está configurado un segundo tampón metamórfico y con el segundo tampón está configurado un segundo número de capas de compensación.
15. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que las capas de compensación no forman parte de una transición pn de un diodo túnel.
- 30 16. Célula solar múltiple (MS) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que el número N comprende la cantidad de los números naturales sin el cero.

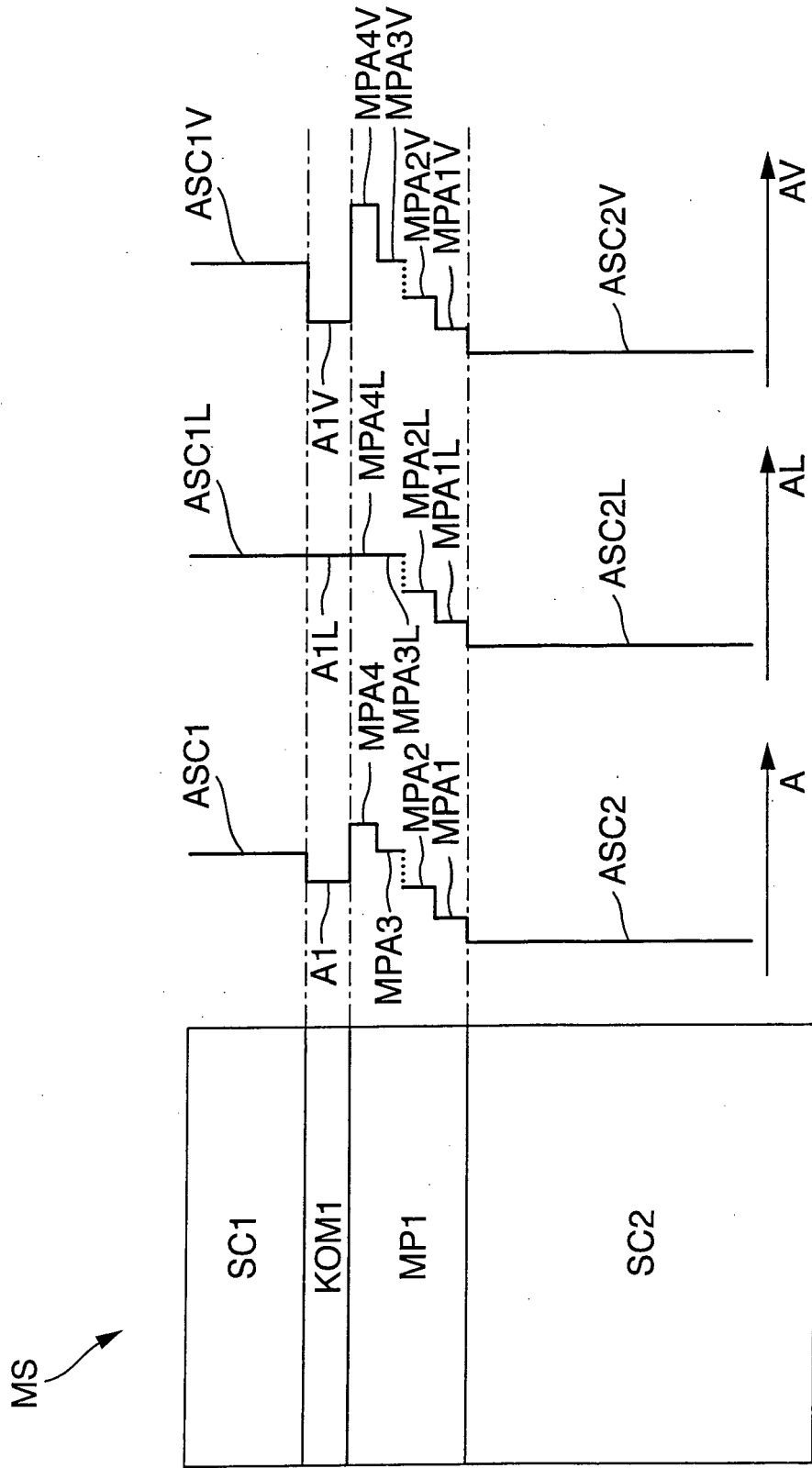


Fig. 1a Fig. 1b Fig. 1c Fig. 1d

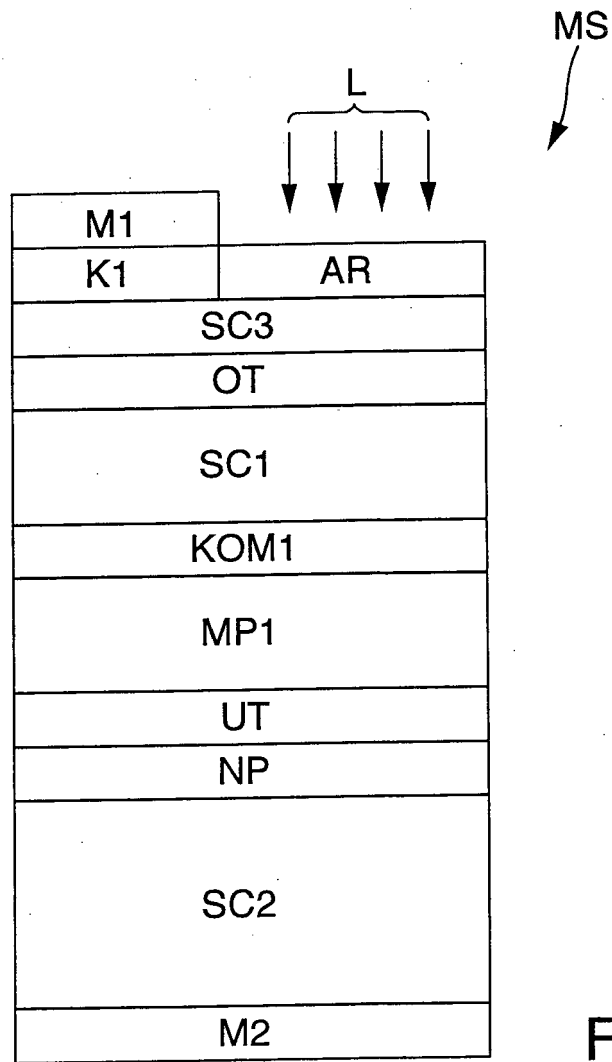


Fig. 2

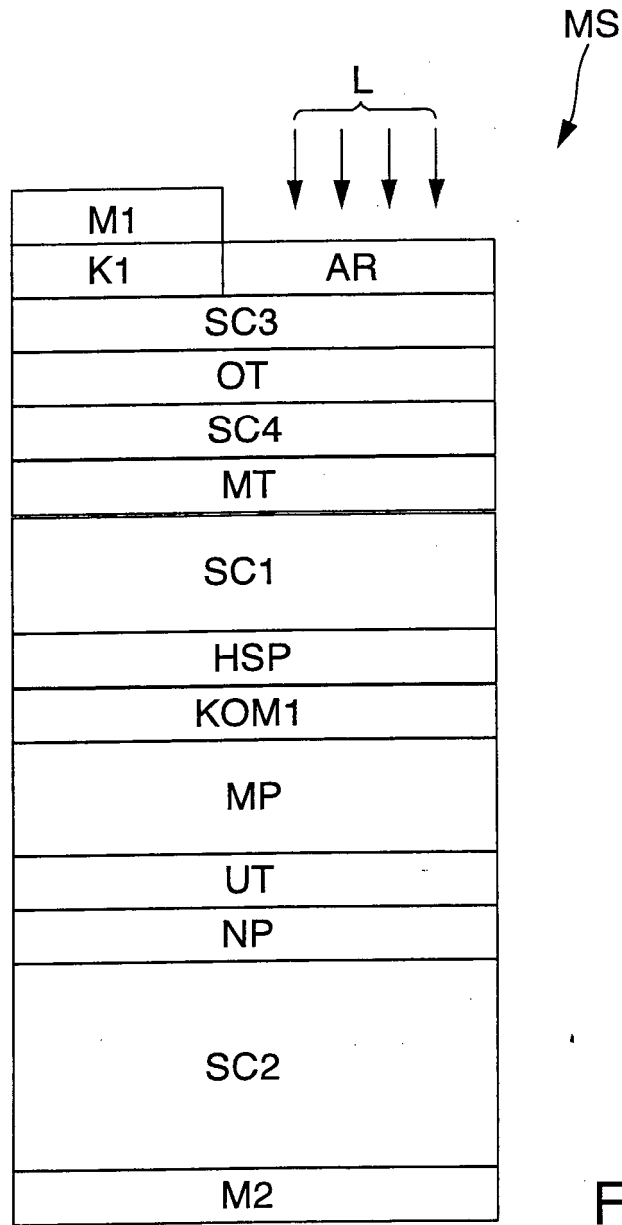


Fig. 3