

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 570**

51 Int. Cl.:

H01L 31/0224 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2007 E 07852888 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2012 EP 2092571**

54 Título: **Electrodo frontal con capa de película delgada de metal y capa de tampón de alta función de trabajo para uso en dispositivo fotovoltaico y procedimiento de fabricar el mismo**

30 Prioridad:

02.11.2006 US 591676

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

22.02.2013

73 Titular/es:

**GUARDIAN INDUSTRIES CORP. (100.0%)
2380 HARMON ROAD
AUBURN HILLS, MI 48326-1714, US**

72 Inventor/es:

KRASNOV, ALEXEY

74 Agente/Representante:

FÀBREGA SABATÉ, Xavier

ES 2 396 570 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

Electrodo frontal con capa de película delgada de metal y capa de tampón de alta función de trabajo para uso en dispositivo fotovoltaico y procedimiento de fabricar el mismo

5 Esta invención se refiere a un dispositivo fotovoltaico que incluye un electrodo contacto/frontal. En ciertas realizaciones de ejemplo, el electrodo frontal del dispositivo fotovoltaico incluye una película de metal altamente conductor y una fina capa de tampón de alta función de trabajo. La capa de tampón de alta función de trabajo se encuentra entre la película metálica y la capa de semiconductor más superior del dispositivo fotovoltaico con el fin de proporcionar para el emparejamiento sustancial de función de trabajo entre la película metálica y la capa de semiconductor del dispositivo más superior de alta función de trabajo con el fin para reducir una barrera de potencial para los agujeros extraídos del dispositivo por la parte delantera del electrodo/contacto. Opcionalmente, una capa tal como un óxido conductor transparente (TCO) o un dieléctrico puede estar prevista entre un sustrato de vidrio frontal y la película de metal en determinados casos de ejemplo.

Antecedentes y resumen de realizaciones de ejemplo de invención

15 Los dispositivos fotovoltaicos se conocen en la técnica (por ejemplo, véase U.S. Patent N^{os} 6.784.361, 6.288.325, 6.613.603, y 6.123.824. Dispositivos fotovoltaicos de silicio amorfo, por ejemplo, incluyen un electrodo o contacto frontal. Típicamente, el electrodo frontal transparente (que puede incluir el contacto frontal como se utiliza aquí) está hecho de un óxido conductor transparente (TCO) tal como óxido de zinc u óxido de estaño formado sobre un sustrato tal como un sustrato de vidrio. En muchos casos, el electrodo frontal transparente está formada de una sola capa usando un procedimiento de pirólisis química en el que los precursores se pulverizan sobre el sustrato de vidrio a aproximadamente 400 a 600 grados C. Electrodo frontal hecho únicamente de una capa TCO de óxido de estaño F-dopado son indeseable en que tienden a sufrir de oscurecimiento en atmósferas de hidrógeno que se pueden usar durante deposición absorbedor de a-Si: H. Como otro ejemplo, electrodos frontales hechos exclusivamente de una capa TCO de óxido de zinc son problemáticos en cuanto a que tienen una conductividad insuficiente en ciertos casos.

20 La EP 1 300 889 A2 divulga un elemento fotovoltaico y dispositivo fotovoltaico. El elemento y dispositivo descritos en ella y comprenden una película ITO (óxido de indio estaño) como una película conductora transparente formada sobre un semiconductor o un semiconductor microcristalino, un electrodo en forma de peine de recogida formado sobre la ITO y una cubierta de vidrio que contiene iones alcalinos, se coloca sobre la película ITO y el electrodo de recogida con una película de resina hecha de EVA (etileno acetato de vinilo) entre ellos.

30 TCOs típicos usados para los electrodos frontales de ciertos dispositivos fotovoltaicos son de tipo n y por lo tanto, pueden crear una barrera Schottky en la interfaz entre el TCO y la capa de semiconductor más superior del dispositivo fotovoltaico (por ejemplo, capa a base de silicio de tipo p) en una dirección inversa al campo incorporado. Esta barrera puede actuar como una barrera para los agujeros extraídos del dispositivo por parte del electrodo frontal, lo que conduce a un rendimiento ineficiente.

35 Por lo tanto, se apreciará que existe una necesidad en la técnica de un electrodo frontal mejorado para un dispositivo fotovoltaico que puede reducir la barrera de potencial para los agujeros extraídos del dispositivo fotovoltaico por el electrodo frontal.

40 Con el fin de superar el problema mencionado anteriormente, la presente invención divulga un dispositivo fotovoltaico según la reivindicación 1 y un electrodo adaptado para un dispositivo fotovoltaico según la reivindicación 8. Otras realizaciones ventajosas se describen en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

45 La figura 1 es una vista en sección transversal de un dispositivo fotovoltaico de ejemplo de acuerdo con una realización de ejemplo de esta invención.

50 La figura 2 es una vista en sección transversal de un dispositivo fotovoltaico de ejemplo de acuerdo con una realización de ejemplo de esta invención.

55 La Figura 3 es un gráfico que ilustra la banda y las posiciones de nivel de Fermi de ciertos materiales y un a-Si:H de tipo p con respecto a un nivel de vacío y un electrodo normal de hidrógeno (NHE).

La figura 4(a) a 4(b) son gráficos que ilustran las posiciones relativas de las capas separadas de TCO y las capas a-Si para ilustrar la ventaja del uso de ITO sobre ZnAlOx como un material de capa de tampón, aunque ambos pueden ser utilizados en diferentes realizaciones de ejemplo de esta invención.

Descripción detallada de realizaciones de ejemplo de la invención

Haciendo referencia ahora más particularmente a los dibujos en los que números de referencia similares indican partes similares en las diversas vistas.

5

Dispositivos fotovoltaicos, tales como células solares convierten la radiación solar y otra luz en energía eléctrica utilizable. La conversión de energía se produce normalmente como resultado del efecto fotovoltaico. La radiación solar (por ejemplo, la luz solar) que incide sobre un dispositivo fotovoltaico y absorbida por una región activa de material semiconductor (por ejemplo, una película semiconductor que incluye una o más capas semiconductoras tales como capas de a-Si) genera pares electrón-hueco en la región activa. Los electrones y los huecos pueden estar separados por un campo eléctrico de una unión en el dispositivo fotovoltaico. La separación de los electrones y huecos la unión resulta en la generación de una corriente eléctrica y voltaje. En ciertas realizaciones de ejemplo, los electrones fluyen hacia la región del material semiconductor que tiene conductividad de tipo n, y de los agujeros fluyen hacia la región del semiconductor que tiene conductividad de tipo p. La corriente puede fluir a través de un circuito externo que conecta la región de tipo n a la región de tipo p como la luz continúa generando pares electrón-hueco en el dispositivo fotovoltaico.

En ciertas realizaciones de ejemplo, los dispositivos fotovoltaicos de silicio amorfo (a-Si) con unión única incluyen tres capas semiconductoras. En particular, una capa p, una capa n y una capa i que es intrínseca. La película de silicio amorfo (que puede incluir una o más capas tales como capas de tipo p, n e i) puede ser de silicio amorfo hidrogenado en determinados casos, pero también puede ser de o incluir carbono de silicio amorfo hidrogenado o germanio de silicio amorfo hidrogenado, o similares, en formas de realización de ejemplo de esta invención. Por ejemplo y sin limitación, cuando un fotón de luz se absorbe en la capa y da lugar a una unidad de corriente eléctrica (un par electrón-hueco). Las capas p y n, que contienen iones dopantes cargados, establecen un campo eléctrico a través de la capa i que extrae la carga eléctrica de la capa i y la envía a un circuito externo opcional donde puede suministrar energía a los componentes eléctricos. Se observa que, mientras algunas formas de realización de ejemplo de esta invención se dirigen hacia dispositivos fotovoltaicos basados en silicio amorfo, esta invención no está tan limitada y puede ser utilizado en conjunción con otros tipos de dispositivos fotovoltaicos en ciertos casos que incluyen pero no se limitan a los dispositivos que incluyen otros tipos de material semiconductor, células solares de película delgada de tándem, y similares. Ciertas formas de realización de ejemplo de esta invención pueden ser aplicable a dispositivos fotovoltaicos de tipo CdS/CdTe, por ejemplo.

La figura 1 es una vista en sección transversal de un dispositivo fotovoltaico de acuerdo con una realización de ejemplo de esta invención. El dispositivo fotovoltaico incluye un sustrato transparente de vidrio frontal 1, capa de nucleación dieléctrica o de óxido conductor transparente (TCO) 2, película metálica de una o varias capas 3 opcionalmente caracterizada por una función de trabajo relativamente baja, la capa de tampón de alta función de trabajo 4, la película semiconductor activa 5 de una o más capas semiconductoras, electrodo o contacto posterior 7 que puede ser de un TCO o un metal, un encapsulante 9 o adhesivo opcional de un material tal como acetato de etilo vinilo (EVA) o similar, y un sustrato superior opcional 11 de un material tal como vidrio. El electrodo frontal en la realización de la fig. 1 puede ser de o incluir película de metal 3, y, opcionalmente, también puede incluir la capa de barrera de alta función de trabajo 4 y/o capa 2, si una o ambas de estas capas 2, 4 es/son conductoras. Por supuesto, otra(s) capa(s) que no se muestra(n) también se puede(n) proporcionar en el dispositivo. La figura 2 es similar a la fig. 1, excepto que la película de metal 3 en la realización de la fig. 2 incluye primera 3a capa de metal de plata o similares y segunda 3b capa de oro o similares. La función de trabajo de la película metálica 3 puede variar dependiendo del metal que se utiliza para hacer la misma. Por ejemplo, mientras que la función de trabajo de la película metálica 3 es menor que la de la película de tampón, la función de trabajo de la película metálica es llamado ser alta por algunos cuando Ag, Au y/o Pd se utiliza para la misma dado que algunos consideran estos metales de relativamente alta función de trabajo.

Sustrato de vidrio frontal 1 y/o sustrato superior trasera (sustrato) 11 pueden estar hechos de vidrio basado en sosa-cal-sílice en formas de realización de ejemplo de esta invención. Si bien los sustratos 1, 11 pueden ser de vidrio en las realizaciones de ejemplo de esta invención, otros materiales tales como cuarzo o similares se pueden utilizar en lugar de como sustrato(s) 1 y/o 11. Además, sustrato superior 11 es opcional en determinados casos. Vidrio 1 y/o 11 puede o no puede templarse térmicamente y/o estamparse en las realizaciones de ejemplo de esta invención. Además, se apreciará que la palabra "sobre", como se usa en la presente memoria se refiere tanto a una capa que está directamente sobre como indirectamente sobre algo, con otras capas, posiblemente, estando situado entre los mismos.

Capa de nucleación 2 puede estar provista entre el sustrato de vidrio frontal 1 y la película metálica 3 en formas de realización de ejemplo de esta invención. La capa de nucleación 2 se puede usar para mejorar la calidad de la película metálica 3 y/o para mejorar la adhesión de la película metálica 3 al sustrato de vidrio 1. En ciertas realizaciones de ejemplo, la capa de nucleación 2 puede ser un TCO de o que incluye un material tal como óxido de estaño, óxido de estaño dopado con flúor, óxido de zinc, óxido de zinc dopado con aluminio, óxido de indio y zinc, óxido de indio y estaño, o similares. Alternativamente, la capa de nucleación 2 puede ser un dieléctrico en formas de realización de ejemplo de esta invención, tales como óxido de zinc, óxido de estaño, o similar. En formas de realización de ejemplo de esta invención, la capa de nucleación 2 es de aproximadamente 40 a 4.000

Å de espesor, más preferiblemente de aproximadamente 60 a 1.000 Å de espesor, incluso más preferiblemente de aproximadamente 80 a 400 Å de espesor, con un ejemplo que es aproximadamente 50 ó 100 Å (es decir, a unos 5 ó 10 nm) de espesor. La capa 2 de nucleación puede tener una función de trabajo relativamente baja en formas de realización de ejemplo de esta invención. Una vez más, la película de metal 3 se puede decir que sea una película de baja función de trabajo en ciertas realizaciones de ejemplo.

En ciertos ejemplos, película metálica 3 puede ser de una sola capa sustancialmente metálica, o alternativamente puede ser de una pluralidad de capas de metal sustancialmente metálicos. Mientras que la película metálica 3 es enteramente metálica en ciertas realizaciones de ejemplo, se pueden incluir también pequeñas cantidades de otro(s) elemento(s) tal como oxígeno o similar en ciertos casos. En ciertas realizaciones de ejemplo, cada capa de película metálica conductora 3 puede ser de o incluye Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Al, aleaciones de los mismos, una combinación de uno o más de estos metales con otro(s) metal(es), o similares. El uso de cobre para la película 3 puede ser ventajoso en determinados casos de ejemplo con respecto al costo, la transmisión en el intervalo visible, y la función de trabajo (aproximadamente 4,7 eV). Por ejemplo, en un ejemplo, la película metálica 3 puede estar formado por una sola capa de metal de o incluyendo Cu, Ag, Au, Ni, Pd, Al, o aleaciones de uno o más de estos metales. En otro ejemplo de realización mostrado en la figura 2, la película metálica 3 puede estar constituido por o incluir una capa de plata 3a y 3b una capa de oro 3b que están en contacto una con la otra. Por lo tanto, se apreciará que en algunos ejemplos, la película metálica 3 puede ser una pila de múltiples capas de diferentes metales o aleaciones metálicas, u óxidos de metal, o una aleación de metal con una composición graduada. La película metálica 3 es sustancial o completamente metálica en ciertas realizaciones de ejemplo, y tiene típicamente una función de trabajo relativamente baja en formas de realización de ejemplo de esta invención. En formas de realización de ejemplo de esta invención, la película de metal 3 tiene un espesor de aproximadamente 20 a 600 Å, más preferiblemente de aproximadamente 40 a 200 Å, incluso más preferiblemente de aproximadamente 60 a 200 Å, con un espesor de ejemplo que es desde aproximadamente 90 a 150 Å.

Capa o película de tampón de alta función de trabajo 4 está prevista entre, y opcionalmente en contacto, la película de metal 3 y el semiconductor 5 del dispositivo fotovoltaico. En ciertas realizaciones de ejemplo, la capa o película de tampón de alta función de trabajo 4 puede estar hecha de una capa de óxido conductor transparente (TCO) capa de o que incluye óxido de indio y estaño (ITO rica en oxígeno, o ITO estequiométrica), óxido de indio y zinc, óxido de zinc, óxido de zinc y aluminio, óxido de estaño, que puede o no estar dopado con flúor, óxido de antimonio estaño, o similar. Por ejemplo, en formas de realización de ejemplo de esta invención, la película de tampón de alta función de trabajo 4 puede formarse por pulverización catódica de una diana cerámica de ITO en una atmósfera gaseosa que incluye una mezcla de Ar (y/o cualquier otro gas inerte) y gases de oxígeno; en otras realizaciones de ejemplo película 4 puede formarse por pulverización catódica de una diana metálica de InSn en una atmósfera gaseosa que incluye una mezcla de Ar (y/o cualquier otro gas inerte) y gases de oxígeno, con una alta cantidad de gas oxígeno que se utiliza para causar que la resultante película de ITO sea rica en oxígeno y que tenga una función de trabajo mayor. En formas de realización de ejemplo de esta invención, la capa o película de tampón de alta función de trabajo 4 puede ser un dieléctrico de un material tal como óxido de estaño, óxido de zinc, o similares. En formas de realización de ejemplo de esta invención, la capa o película de tampón de alta función de trabajo 4 tiene un espesor de aproximadamente 10 a 1.000 Å, más preferiblemente de aproximadamente 20 a 100 Å, incluso más preferiblemente de aproximadamente 25 a 60 Å, con un espesor de ejemplo que es de alrededor de 30 a 50 Å. Si la película 4 es demasiado gruesa, su función de trabajo puede ser indeseable. Mientras que los espesores anteriores para la capa o película 4 son particularmente aplicables cuando la capa o película de tampón de alta función de trabajo 4 es un TCO, es posible hacer la capa de tampón de alta función de trabajo 4 incluso más delgada (por ejemplo, aproximadamente 5 a 30 Å de espesor, por ejemplo, aproximadamente 10 Å de espesor), cuando la capa o película 4 es un dieléctrico.

Se apreciará que los elementos/películas 1, 2, 3 y 4 son todos sustancialmente transparente en formas de realización de ejemplo de esta invención, por lo que la luz puede alcanzar el semiconductor/absorbente activo del dispositivo fotovoltaico.

En formas de realización de ejemplo de esta invención, el dispositivo fotovoltaico puede ser hecho por proporcionando sustrato de vidrio 1, y luego depositar (por ejemplo, mediante pulverización catódica, pirólisis, o cualquier otra técnica adecuada) capas 2, 3 y 4 sobre el sustrato 1 en este orden. Posteriormente, la estructura que incluye el sustrato 1 y el electrodo frontal se acopla con el resto del dispositivo con el fin de formar el dispositivo fotovoltaico mostrado en la figura 1 (o la figura 2). Por ejemplo, la capa semiconductor 5 a continuación, puede formarse sobre la estructura de electrodo frontal sobre el sustrato 1, o puede estar formado alternativamente sobre el otro sustrato 11 con la estructura de contacto frontal a partir de entonces siendo acoplado a la misma. Capas frontales de electrodos 3 (y, opcionalmente, 4 y/o 2) son proporcionadas típicamente de forma continua, o sustancialmente continua, sobre sustancialmente toda la superficie de la película semiconductor 5 en formas de realización de ejemplo de esta invención, aunque es posible que las capas de electrodo frontal pueden ser estampadas (por ejemplo, a través de uso de grabado láser o similar) en formas diferentes en ciertos casos.

En los dispositivos fotovoltaicos o similares la conductividad eléctrica buena en la dirección normal es deseada, además de la conductividad en la dirección lateral, con el fin de extraer eficazmente portadores de carga generados desde el dispositivo semiconductor. Buena conductividad se proporciona a través de al menos la película metálica 3. Un problema potencial en este sentido es una diferencia considerable energética entre la función de trabajo de la película metálica 3 y el nivel de Fermi del absorbedor semiconductor 5. Por ejemplo y sin limitación, en el caso de células solares de silicio amorfo (a-Si) o silicio micromorfo, donde el absorbedor frontal es a-Si o a-Si:H, la diferencia entre la función de trabajo de una película metálica 3 (Ag por ejemplo) y el nivel de Fermi del absorbente 5 puede ser de 0,9 eV que puede reducir significativamente la eficiencia del dispositivo. Con el fin de superar este problema potencial, de acuerdo con formas de realización de ejemplo de esta invención, se utiliza una combinación de una película delgada de metal 3 y una delgada película de tampón de función de trabajo correspondiente 4 para uso en relación con la estructura de electrodo frontal. La película de tampón de función de trabajo correspondiente 4 se proporciona para que coincida sustancialmente con la función de trabajo de la película metálica 3 y el absorbedor de 5 semiconductor del dispositivo fotovoltaico. Esto hace que el absorbedor semiconductor 5 libere los agujeros generados mucho más fácil; en otras palabras, su nivel de Fermi se puede elevar y la barrera de potencial para los portadores de carga se puede reducir mejorando de este modo la eficiencia del dispositivo. En formas de realización de ejemplo de esta invención, el tampón de alta función de trabajo 4 puede estar hecho de ITO rica en oxígeno o cualquier otro material adecuado como se analiza aquí, en determinados casos de ejemplo. La película de tampón de alta función de trabajo 4 se encuentra entre la película de metal de baja función de trabajo 3 y la parte más superior de semiconductor (por ejemplo, parte de semiconductor del tipo p) de la película 5 del dispositivo fotovoltaico con el fin de proporcionar sustancial emparejamiento de función de trabajo entre la película de metal de baja función de trabajo 3 y la parte más superior de semiconductor de alta función de trabajo del dispositivo, así como para reducir una barrera de potencial para los agujeros extraídos del dispositivo por el electrodo frontal.

La película de tampón 4 para el emparejamiento sustancial de función de trabajo puede ser un semiconductor tal como un TCO (por ejemplo, ITO, otro material mencionado en este documento, o cualquier otro material adecuado) que tiene una gran energía del nivel de Fermi, aunque es posible que un dieléctrico muy fino también podría ser utilizado para esta película/capa. La figura 3 ilustra el concepto general y las Figs. 4a a 4b demuestran la ventaja de ITO sobre otros materiales de tampón tales como ZnAlOx desde el punto de vista del emparejamiento de función de trabajo de la película de metal 3 y el semiconductor 5. El uso de un dieléctrico ultra-delgado como película 4 se basa en sus propiedades de tunelización, cuando la frase de función de trabajo efectivo se puede aplicar, lo que significa que cuando las películas 3 y 5 están separados por un dieléctrico ultra-delgado (por ejemplo, un tipo de película 4), el absorbente de semiconductores 5 puede liberar los agujeros generados mucho más fácil. En otros términos, su nivel de Fermi se eleva y la barrera de potencial para los portadores de carga se puede reducir mejorando de este modo la eficiencia del dispositivo. En ciertas realizaciones de ejemplo, la función de trabajo de la película metálica 3 está sustancialmente emparejada con el nivel de Fermi del absorbedor 5 sintonizando el ajuste del nivel de Fermi de la película de tampón 4; esto puede lograrse, por ejemplo, variando los parámetros de deposición de la película 4. Por lo tanto, se apreciará que la función de trabajo del tampón o película de función de trabajo emparejada 4 se ajusta a través de condiciones de deposición a ser mayor que la función de trabajo de la película metálica 3 y/o menor que el nivel de Fermi de la capa mas superior o parte de capa de la película absorbente de semiconductores 5.

El uso de la película de emparejamiento 4, tales como ITO o un dieléctrico, también puede proporcionar una mayor durabilidad de la pila de capas de modo que el recubrimiento puede ser depositado en línea y también ser enviada de manera eficiente a los fabricantes de células solares. En otras palabras, la película 4 también se puede considerar una capa protectora de recubrimiento para la película de metal 3 con el fin de proteger a la misma durante el transporte o similar.

En formas de realización de ejemplo de esta invención, la alta función de trabajo y/o la película de emparejamiento de alta función de trabajo 4 tiene una función de trabajo de aproximadamente 4,0 a 5,7 eV (por ejemplo, para las células solares de silicio amorfo o micromorfo, por ejemplo pero sin limitación), más preferiblemente de aproximadamente 4,3 a 5,2 eV, incluso más preferiblemente de aproximadamente 4,5 a 5,0 eV, aún más preferiblemente de aproximadamente 4,6 a 4,8 eV, con un ejemplo que es aproximadamente de 4,7 eV. En ciertas realizaciones de ejemplo, la película de tampón de alta función de trabajo 4 tiene una función de trabajo de al menos aproximadamente 4% mayor que la de la película metálica 3, más preferiblemente al menos 6% mayor, y más preferiblemente aproximadamente al menos 10% mayor que la función de trabajo de la película metálica 3.

En formas de realización de ejemplo de esta invención, el electrodo frontal en general, incluyendo por lo menos la película de metal de por lo menos 3, puede tener una resistencia laminar (R_s) de desde alrededor de 2 a 50 ohmios/cuadrado, más preferiblemente de alrededor de 2 a 15 ohmios/cuadrado, y más preferiblemente de alrededor de 2 a 10 ohmios/cuadrado.

La región o película de semiconductor activo 5 puede incluir una o más capas, y puede ser de cualquier material adecuado. Por ejemplo, la película semiconductor activa 5 de un tipo de dispositivo fotovoltaico de silicio amorfo (a-Si) con una sola unión incluye tres capas semiconductoras, es decir, una capa p, una capa n y una capa i. La

- capa de a-Si de tipo p de la película semiconductora 5 puede ser la parte más superior de la película semiconductora 5 en formas de realización de ejemplo de esta invención, y la capa i se encuentra normalmente entre las capas de tipo p y n. Estas capas o películas basadas en silicio amorfo de película basados 5 pueden ser de silicio amorfo hidrogenado en determinados casos, pero también puede ser de o incluir carbono de silicio amorfo hidrogenado o germanio de silicio amorfo hidrogenado, u otro(s) material(es) adecuado(s) en formas de realización de ejemplo de esta invención. Es posible que la región activa 5 sea de un tipo de doble unión en formas de realización alternativas de la presente invención. CdS/CdTe también puede ser utilizado para semiconductores 5 en determinados casos de ejemplo.
- 5
- 10 Contacto o electrodo posterior 7 puede ser de cualquier adecuado material eléctricamente conductor. Por ejemplo y sin limitación, el contacto o electrodo posterior 7 puede ser de un TCO y/o un metal en determinados casos. Ejemplo de materiales de TCO para usar como contacto o electrodo posterior 7 incluyen óxido de indio y zinc, óxido de indio-estaño (ITO), óxido de estaño, y/o óxido de zinc que puede ser dopado con aluminio (que pueden o no estar dopado con plata). El TCO del contacto posterior 7 puede ser del tipo de una sola capa o de
- 15 un tipo de múltiples capas en diferentes instancias. Además, el contacto posterior 7 puede incluir tanto una parte de TCO y una parte de metal en determinados casos. Por ejemplo, en una realización de ejemplo de múltiples capas, la parte de TCO del contacto posterior 7 puede incluir una capa de un material tal como óxido de indio y cinc (que puede o no estar dopado con plata), de óxido de indio-estaño (ITO), óxido de estaño, y/o óxido de zinc más cercana a la región activa 5, y el contacto posterior puede incluir otra capa conductiva y posiblemente
- 20 reflectante de un material tal como plata, molibdeno, platino, acero, hierro, niobio, titanio, cromo, bismuto, antimonio o aluminio más lejos de la región activa 5 y más cercana al sustrato superior 11. La parte de metal puede estar más cerca al sustrato superior 11 en comparación con la parte de TCO del contacto posterior 7.
- El módulo fotovoltaico puede estar encapsulado o parcialmente cubierto con un material encapsulante tal como
- 25 encapsulante 9 en determinados modos de realización de ejemplo. Un ejemplo de encapsulante o adhesivo para la capa 9 es EVA. Sin embargo, otros materiales tales como plástico tipo Tedlar, plástico tipo Nuvasil, plástico tipo Tefzel o similares en lugar se puede utilizar para la capa 9 en los diferentes casos.
- Materiales de TCO típicamente utilizados como electrodos/contactos frontales en dispositivos fotovoltaicos de
- 30 película delgada (por ejemplo, células solares) son a menudo de tipo n, y así crean una barrera Schottky en la interfaz entre el TCO y la parte más superior de semiconductor del dispositivo que puede ser una parte/capa de a-Si:H porción/capa de tipo p (tal barrera Schottky puede ser en una dirección inversa al campo incorporado). Esta barrera es problemática ya que puede formar una barrera para los agujeros extraídos de la célula por el
- 35 contacto frontal lo que conduce a un rendimiento ineficiente del dispositivo. Con el fin de superar este problema, se utiliza un material con una función de trabajo mayor. En ciertas realizaciones de esta invención, estructura de electrodo frontal de múltiples capas de se proporciona formando una película metálica 3 y, adicionalmente, una película delgada de tampón 4 para proporcionar un emparejamiento aproximado o más sustancial de función de trabajo entre la película 3 y la parte más superior de la película de semiconductor 5. En ciertas realizaciones de ejemplo, el nivel de oxígeno puede aumentar gradualmente o de forma periódica a partir de la interfaz entre las
- 40 capas 3 y 4 a la interfaz entre las capas/películas 4 y 5. En otras palabras, la capa/película de alta función de trabajo 4 puede ser graduada en oxidación en ciertas realizaciones no limitantes de ejemplo con el fin de tener un mayor contenido de oxígeno en una porción de la misma inmediatamente adyacente a la película semiconductora 5 que en una parte de película metálica de la misma adyacente 3; esto puede ayudar a mejorar el rendimiento por las razones analizadas en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo fotovoltaico que comprende:

- 5 un sustrato de vidrio frontal (1),
una película semiconductor activa (5),
10 una estructura de electrodo frontal eléctricamente conductor y sustancialmente transparente ubicado entre al menos el sustrato de vidrio frontal (1) y la película de semiconductor (5), en el que la estructura de electrodo frontal comprende una película de metal sustancialmente transparente (3), y
15 una película de tampón de alta función de trabajo(4), en el que la película de tampón de alta función de trabajo(4) tiene una función de trabajo que es mayor que una función de trabajo de la película metálica (3), y en el que la película de tampón de alta función de trabajo(4) se encuentra entre la película de metal (3) y una porción superior de la película semiconductor (5),

caracterizado porque

- 20 la película de metal sustancialmente transparente (3) comprende primero (3a) y segunda (3b) capas sustancialmente metálicas hechas de metales diferentes.

2. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 1, en el que la película de tampón de alta función de trabajo (4) comprende uno de: una película de TCO, óxido de indio y estaño o de indio-estaño-óxido (ITO) rico en oxígeno.

25 3. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 1, en el que la película metálica (3) tiene una función de trabajo de no más de aproximadamente 4,2 eV, y la película de tampón de alta función de trabajo (4) tiene una función de trabajo de al menos 4,3 eV.

30 4. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 1, en el que la película de tampón de alta función de trabajo (4) tiene una función de trabajo de al menos aproximadamente 4% mayor que la de la película metálica (3), más preferiblemente al menos 6% mayor, y más preferiblemente a al menos aproximadamente 10% mayor.

35 5. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 1, en el que la película de tampón de alta función de trabajo (4) tiene una función de trabajo de aproximadamente 4,0 a 5,7 eV, preferiblemente de aproximadamente 4,3 a 5,2 eV, y más preferiblemente de aproximadamente 4,5 a 5,0 eV.

40 6. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 1, en el que la película metálica (3) es de aproximadamente 2 a 60 nm (20 a 600 angstroms) de espesor, y la película de tampón de alta función de trabajo (4) es de aproximadamente 1 a 100 nm (10 a 1.000 angstroms) de espesor, y preferiblemente en el que la película metálica (3) es de alrededor de 4 a 20nm (4 a 200 angstroms) de espesor, y la película de tampón de alta función de trabajo (4) es de aproximadamente 1 a 10nm (10 a 100 angstroms) de espesor.

45 7. El dispositivo fotovoltaico de la reivindicación 1, en el que la película de tampón de alta función de trabajo (4) es un dieléctrico y tiene un grosor de aproximadamente 0,5 a 3 nm (angstroms 5-30).

8. Una estructura de electrodo adaptado para su uso en un dispositivo fotovoltaico, la estructura de electrodo que comprende:

- 50 un sustrato de vidrio (1),
una película de metal sustancialmente transparente (3) soportado por el sustrato de vidrio (1),
55 una película de tampón de alta función de trabajo (4) soportado por el sustrato de vidrio (1), en el que la película de tampón de alta función de trabajo (4) tiene una función de trabajo que es mayor que una función de trabajo de la película metálica (3), y la película metálica (3) está situado entre por lo menos la película tampón de alta función trabajo (4) y el sustrato de vidrio (1),

caracterizado porque

- 60 la película de metal (3) comprende primera y segunda capas diferentes sustancialmente metálicas.

9. La estructura de electrodo de la reivindicación 8, en el que la película de tampón de alta función de trabajo (4) comprende una película de TCO.

65

- 10.** La estructura de electrodo de la reivindicación 8, en el que la película de tampón de alta función de trabajo (4) está en contacto directo con la película metálica (3) y también está adaptado para contactar directamente con una película semiconductor (5) del dispositivo fotovoltaico.
- 5 **11.** La estructura de electrodo de la reivindicación 8, en el que la película metálica (3) tiene una función de trabajo de no más de aproximadamente 4,2 eV, y la película de tampón de alta función de trabajo (4) tiene una función de trabajo de al menos 4,3 eV, y en el que la alta película de tampón de alta función de trabajo tiene una función de trabajo de al menos aproximadamente 4% mayor que la de la película de metal.
- 10 **12.** La estructura de electrodo de la reivindicación 8, en el que la película metálica (3) es de alrededor de 4 a 20nm (40 a 200 angstroms) de espesor, y película de tampón de alta función de trabajo (4) es de aproximadamente 1 a 10nm (10 a 100 angstroms) de espesor.

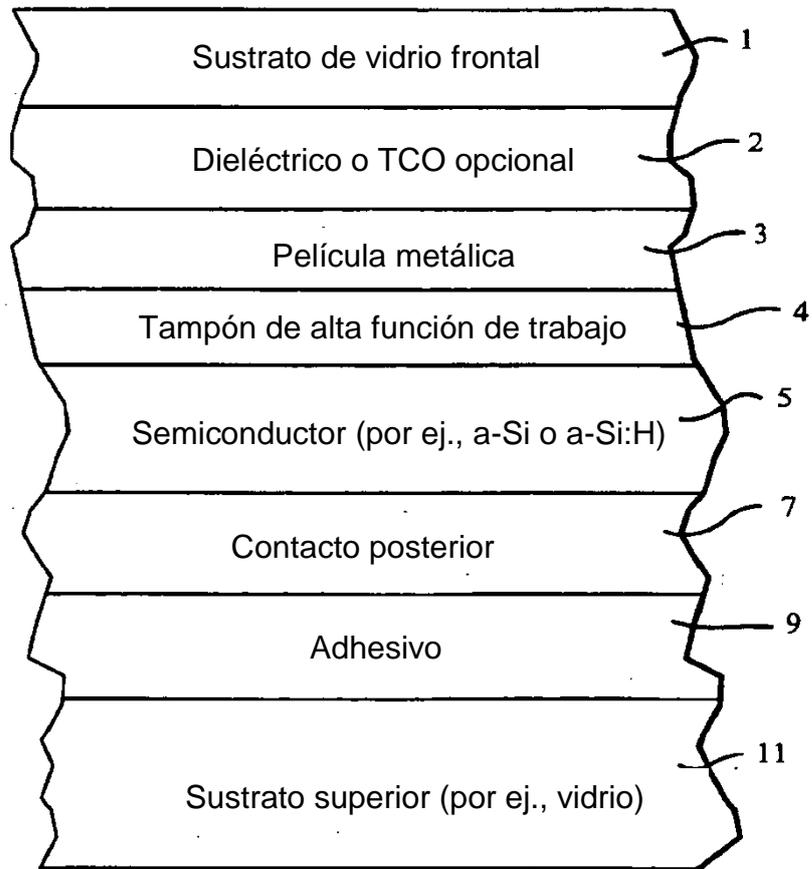
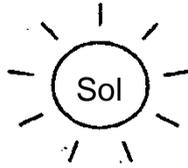


Fig. 1

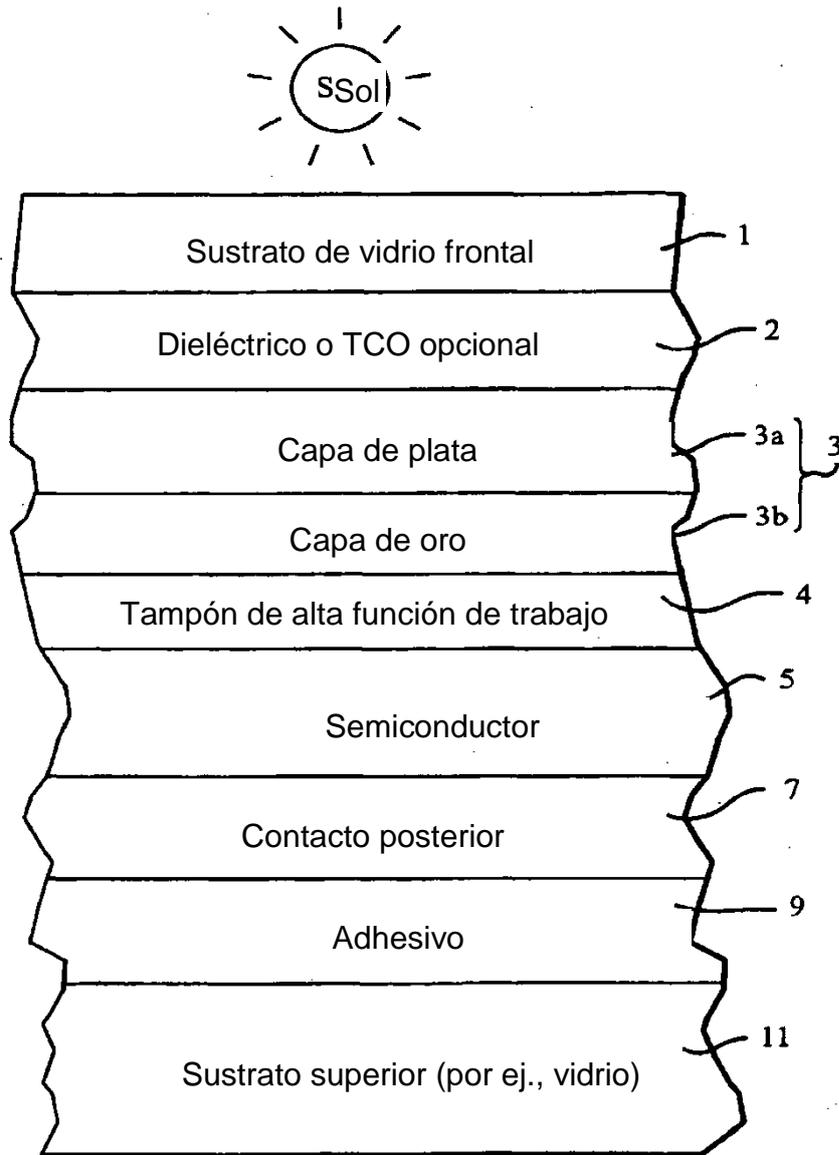


Fig. 2

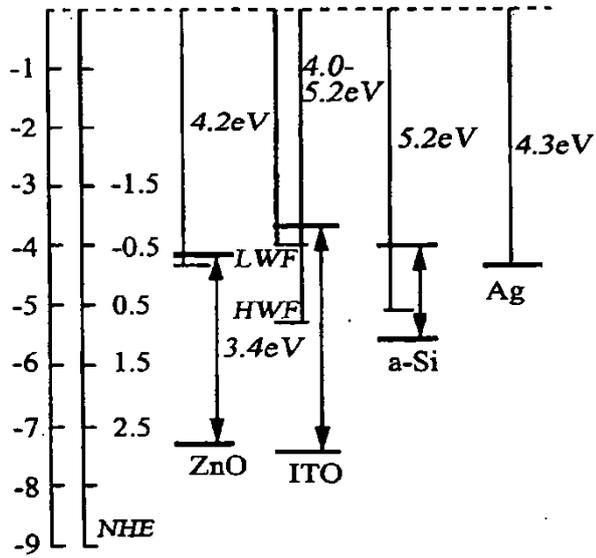


Fig. 3

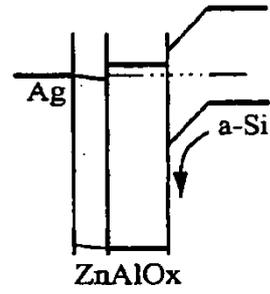


Fig. 4a

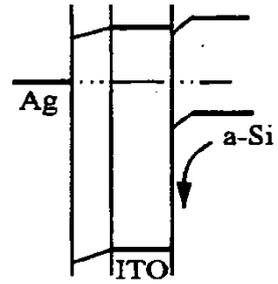


Fig. 4b