

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 967 341**

51 Int. Cl.:

H10K 30/15 (2013.01)

H10K 30/81 (2013.01)

H10K 85/50 (2013.01)

H10K 71/60 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.10.2016** **PCT/GB2016/053100**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.04.2017** **WO17060700**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.10.2016** **E 16781169 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2023** **EP 3360173**

54 Título: **Arquitectura de dispositivo**

30 Prioridad:

06.10.2015 GB 201517629

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

29.04.2024

73 Titular/es:

OXFORD UNIVERSITY INNOVATION LIMITED
(100.0%)

Buxton Court, 3 West Way
Oxford, Oxfordshire OX2 0JB, GB

72 Inventor/es:

SNAITH, HENRY JAMES;
LEIJTENS, TOMAS;
ALEXANDER-WEBBER, JACK y
HOERANTNER, MAXIMILIAN TOBIAS

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 967 341 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

Arquitectura de dispositivo

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo optoelectrónico y a un proceso para producir un dispositivo optoelectrónico.

- 10 El trabajo que conduce a la presente invención ha recibido financiación del Consejo Europeo de Investigación bajo la subvención ERC-Stg 2011 HYPER.

Antecedentes de la invención

- 15 Las células solares de perovskita orgánica-inorgánica se han elevado a la vanguardia de la investigación en soluciones de energía fotovoltaica. Los materiales en las células solares, distintos de los electrodos, pueden procesarse en solución y ser de bajo coste, haciéndolos fácilmente escalables para aplicaciones de área grande.

- 20 En la configuración de dispositivo estándar, una losa del semiconductor de perovskita (más comúnmente $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) se "intercala" entre dos contactos selectivos del portador. Esto se representa esquemáticamente en la Figura 1, donde el dióxido de titanio (TiO_2) se usa como una capa de extracción de electrones de bloqueo de huecos y la molécula orgánica pequeña Spiro-OMeTAD se usa como la capa de extracción de huecos de bloqueo de electrones. Estas capas se ponen en contacto con un óxido conductor transparente (TCO, tal como óxido de estaño dopado con flúor (FTO)) y un metal con función de trabajo profundo (tal como plata u oro) en la parte inferior y superior, respectivamente.
- 25 En esta configuración, la luz pasa a través del TCO y la capa de bloqueo de huecos para alcanzar la capa activa de perovskita. Hay, sin embargo, pérdidas no despreciables debidas a la reflexión, dispersión y absorción de luz a través de estas capas, que ascienden a cerca del 15 % de toda la luz en la región visible del espectro solar (Ball, J. M.; Lee, M. M.; Hey, A.; Snaith, H. J. Energy Environ. Sci. 2013, 6, 1739). Esto significa que el rendimiento de la célula solar está limitado a menos del 90 % de su máximo teórico simplemente por las limitaciones prácticas de la captación de luz. Es más, este enfoque tipo pila significa que el procesamiento de células solares implica varias etapas intensivas en energía con múltiples etapas de deposición, usando cantidades relativamente grandes de oro o plata en el contacto superior sólido.
- 30

- 35 Si la longitud de difusión del material en cuestión es relativamente larga, sin embargo, puede ser posible mitigar estos problemas haciendo contactos largos y finos con grandes espacios entre los mismos. En este punto, la transmisión de luz a través de este contacto será simplemente proporcional al área efectiva del semiconductor sin contacto. La alta conductividad de los metales hace posible hacer contactos metálicos extremadamente estrechos del orden de 1 μm . Si la longitud de difusión es decenas de μm , se puede utilizar una separación de decenas de μm , de modo que el área efectiva ocupada por el electrodo se vuelve insignificante, y ciertamente menos del 15 % que se pierde en la disposición de contacto inferior TCO estándar. Este es el diseño que se usa comúnmente en las células solares de silicio disponibles comercialmente: muchos electrodos finos de plata o aluminio se depositan en la parte superior de la capa tipo p de la célula solar con una separación de mm para hacer un electrodo superior conductor con alta transparencia (Korte, L.; Conrad, E.; Angermann, H.; Stangl, R.; Schmidt, M. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 2009, 93, 905). Las longitudes de difusión de electrones y huecos en perovskitas pueden ser superiores a 1 μm (Stranks, y col. Science (80)) 2013, 342-341).
- 40
- 45

- 50 Por otro lado, si fuera posible colocar ambos contactos selectivos en el mismo sustrato inferior, entonces la superficie superior del semiconductor estaría completamente desprotegida de la irradiación entrante. De hecho, la superficie superior podría incluso recubrirse con un revestimiento antirreflectante con un índice de refracción apropiado. Es más, el sustrato posterior que contiene aquí contactos selectivos de electrones y huecos, puede ser también casi transparente, haciendo que esta arquitectura sea ideal para la construcción de fotovoltaicos integrados donde los paneles solares se doblan como ventanas. Una forma en la que esto podría llevarse a cabo es mediante el uso de contactos selectivos de huecos y electrones interdigitados en el sustrato inferior, por ejemplo, como se describe en el documento US 4.478.879 y Fu, D., Li Zhang, X., Barber, R. L. & Bach, U. Dye-sensitized back-contact solar cells, Adv. Mater. 22, 4270-4274 (2010). Esta estructura de contacto posterior interdigitada se ha descrito también teóricamente en relación con las perovskitas en el documento WO 2015/084961, aunque no hay indicación de cómo podrían construirse tales dispositivos.
- 55

- 60 Asimismo, la estructura de electrodo posterior interdigitada ha demostrado ser difícil de usar ya que los dos contactos selectivos no pueden tocarse, ya que formarían una trayectoria de cortocircuito en el sustrato inferior. Esto ha impedido que este tipo de arquitectura de electrodo se aplique fácilmente a las células fotovoltaicas procesadas en solución, como las células solares de perovskita de haluro metálico. Asimismo, las células solares de perovskita de haluro metálico tienen longitudes de difusión de par electrón-hueco relativamente cortas en comparación con el silicio, lo que significa que son menos adecuadas para electrodos posteriores interdigitados.
- 65

Por lo tanto, es deseable desarrollar una arquitectura de electrodo posterior novedosa adecuada para su uso en células

solares de perovskita. También es deseable desarrollar un nuevo método para preparar tales estructuras.

El documento US 2009/215222 A1 describe la fabricación de un transistor de película fina. Gratzel, Nature Materials 13, 9 (2014), 838-842 describe células solares que comprenden perovskitas de haluro metálico. El documento US 4.461.071 A describe un proceso fotolitográfico para fabricar transistores de película fina. El documento WO 2009/008674 A2 describe una célula solar y un método de fabricación de una célula solar. El documento WO 2010/060154 A1 describe dispositivos fotovoltaicos.

Sumario de la invención

Los inventores han desarrollado una nueva estructura de dispositivo optoelectrónico que sorprendentemente permite que se use una estructura de electrodo posterior en un dispositivo optoelectrónico que comprende un material fotoactivo de perovskita de haluro metálico. Los inventores han encontrado también que las longitudes de difusión medidas en células solares de perovskita de hasta 10 μm sugieren que este tipo de arquitectura debería ser factible para esta nueva clase de célula solar. La invención también permite sorprendentemente la preparación de una célula solar de perovskita completamente en contacto posterior a través de una etapa de modelado litográfico de una etapa simple y escalable. La arquitectura permite una captación de luz mejorada y, por lo tanto, una eficiencia limitante final una vez optimizada por completo, mientras que tiene también beneficios directos para un procesamiento y uso simples en la construcción de fotovoltaicos integrados. Un mérito clave de la invención es que en todas las áreas del sustrato de contacto posterior debajo de la capa de perovskita de haluro metálico hay un material colector tipo p o tipo n presente en el sustrato. Esto tiene la influencia beneficiosa de dejar predominantemente solo un tipo de portador de carga (electrones u huecos) con el requisito de viajar lateralmente en la perovskita de haluro metálico en las regiones por encima de las capas colectoras de carga tipo p o tipo n.

La invención proporciona un dispositivo optoelectrónico que comprende:

(a) un sustrato que comprende al menos un primer electrodo, cuyo al menos un primer electrodo comprende un primer material de electrodo, y al menos un segundo electrodo, cuyo al menos un segundo electrodo comprende un segundo material de electrodo; y

(b) una capa de un material fotoactivo dispuesta sobre el sustrato, cuyo material fotoactivo está en contacto con el al menos un primer electrodo y el al menos un segundo electrodo,

cuyo sustrato comprende:

- una capa del primer material de electrodo; y,
- dispuesta sobre la capa del primer material de electrodo, una capa de un material aislante, cuya capa de un material aislante cubre parcialmente la capa del primer material de electrodo; y,
- dispuesto sobre la capa del material aislante, el segundo material de electrodo,

en donde el material fotoactivo comprende un compuesto cristalino que es una perovskita, cuya perovskita comprende:

- uno o más primeros cationes seleccionados de cationes metálicos o metaloides;
- uno o más segundos cationes seleccionados de Cs^+ , Rb^+ , K^+ , NH_4^+ y cationes orgánicos; y
- uno o más aniones de haluro o calogenuro, y

en donde el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo optoelectrónico de contacto posterior, en el que:

el sustrato tiene un primer lado en el que están dispuestos el uno o más primer y segundo electrodos, y la capa del material fotoactivo está dispuesta en el primer lado del sustrato; y
la capa del material fotoactivo tiene un primer lado y un segundo lado, y el primer lado de la capa del material fotoactivo está en contacto con el sustrato.

La invención proporciona también un proceso para producir un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con la invención, cuyo proceso comprende:

(a) producir un sustrato que comprende un primer electrodo y un segundo electrodo, mediante un proceso que comprende:

- (i) proporcionar una capa de un primer material de electrodo dispuesto sobre una capa de un material base;
- (ii) disponer sobre la capa del primer material de electrodo una capa de una resistencia;
- (iii) realizar una etapa de litografía para definir un segundo patrón de electrodo en la capa del primer material de electrodo;
- (iv) disponer sobre la capa de resistencia una capa de un material aislante;
- (v) disponer sobre la capa del material aislante una capa de un segundo material de electrodo; y
- (vi) eliminar la resistencia y el material aislante y el segundo material de electrodo dispuesto sobre la resistencia;

(b) disponer una capa de un material fotoactivo sobre el sustrato, cuyo material fotoactivo comprende un compuesto cristalino que es una perovskita, en donde la perovskita comprende:

- 5 - uno o más primeros cationes seleccionados de cationes metálicos o metaloides;
- uno o más segundos cationes seleccionados de Cs^+ , Rb^+ , K^+ , NH_4^+ y cationes orgánicos; y
- uno o más aniones de haluro o calcogenuro.

Además, la invención proporciona un módulo que comprende dos o más de los dispositivos optoelectrónicos de acuerdo con la invención.

Breve descripción de las figuras

15 La Figura 1 muestra un esquema de la arquitectura de célula solar de perovskita estándar.

La Figura 2 muestra un esquema del proceso de la invención para producir un electrodo de sustrato.

20 La Figura 3 muestra una imagen de microscopio de un electrodo macroscópico de muchos electrodos finos individuales, todos conectados para formar un electrodo grande. Las características cruciformes más gruesas son tiras más gruesas del electrodo de HCE para evitar pérdidas en el caso de pequeñas roturas a lo largo de los electrodos finos.

La Figura 4 muestra un esquema de la estructura de dispositivo generalizada final.

25 La Figura 5 muestra una imagen de microscopio electrónico de barrido de una sección transversal de uno de los dispositivos preparados en el estudio preliminar.

30 La Figura 6 muestra las características de densidad-tensión (JV) de corriente de los dispositivos con (1, 5, 10, 15 μm) de separación de electrodos de conducción de huecos diferentes.

La Figura 7 muestra las características de JV de un dispositivo con una separación de electrodos de conducción de huecos de 1 μm con la fotocorriente más alta en cortocircuito de aproximadamente 1 $\text{mA}\cdot\text{cm}^{-2}$.

35 La Figura 8 muestra un diagrama esquemático en perspectiva de un sustrato de electrodo útil en la invención. A es la capa del segundo material de electrodo, B es la capa de un material aislante, C es la capa del primer material de electrodo y D es una capa de un material base.

40 La Figura 9 muestra vistas en planta esquemáticas de posibles patrones de electrodos y cobertura donde las áreas blancas son áreas expuestas del primer material de electrodo y las áreas negras corresponden a la capa del segundo material de electrodo.

La Figura 10 muestra una vista lateral esquemática de una realización del dispositivo optoelectrónico.

45 La Figura 11 muestra una vista lateral esquemática de un módulo de acuerdo con la invención que comprende una interconexión entre dos células adyacentes. A es el material base, B y C forman juntos el primer material de electrodo (con C como un semiconductor tipo n), D es un material aislante, E es el segundo material de electrodo y F es el compuesto cristalino.

50 La Figura 12 muestra una vista esquemática en planta de un módulo de acuerdo con la invención.

La Figura 13 muestra una imagen de SEM inclinada de la fotorresistencia estampada después del revelado, que muestra un perfil de socavado beneficioso para el despegue con distancia de paso y ancho de dedo de 1 μm .

55 La Figura 14 muestra una imagen de microscopio óptico que muestra los electrodos estampados con paso y ancho de dedo de 1 μm después del despegue.

La Figura 15 muestra una imagen de SEM en sección transversal que muestra electrodos de Ni + NiO encima de Al_2O_3 aislante rodeados por perovskita cubierta con una fina capa de PMMA.

60 La Figura 16 muestra las características de densidad de corriente - tensión (JV) bajo luz (LC) y en la oscuridad (DC) de dispositivos, cuyos electrodos de níquel fueron recocidos (an) o grabados con plasma O_2 para crear una cubierta de NiO.

65 La Figura 17 muestra un esquema del dispositivo de contacto posterior en el que la capa conductora de huecos se evapora sobre el electrodo de oro antes del despegue. La derivación que crea los lados expuestos del electrodo de oro se trata con una capa aislante autoensamblable de 1-dodecanotiol para evitar la inyección de electrones en

el oro.

La Figura 18 muestra las características de densidad de corriente - tensión (JV) bajo luz (LC) y en la oscuridad (DC) del dispositivo, que usa oro como electrodo conductor de huecos, NiO evaporado como capa de transporte de huecos y 1-dodecanotiol como capa de bloqueo de derivación.

La Figura 19 muestra las características de densidad de corriente - tensión (JV) bajo luz de los dispositivos, que no se trataron o que se trataron con líquido iónico (ion) y/o la perovskita se revistió con óxido de trioctilfosfina (TOPO). Se muestra que la tensión de circuito abierto mejora con el tratamiento con TOPO.

La Figura 20 muestra la eficiencia de conversión de potencia estabilizada (mantenida a la tensión del punto de máxima potencia durante 50 segundos) de un líquido iónico y un dispositivo tratado con TOPO.

La Figura 21 muestra las características de densidad de corriente - tensión (JV) en dirección inversa y directa bajo la luz de dispositivos que se invirtieron.

La Figura 22 muestra una imagen de microscopio óptico de electrodos estampados después del despegue con un ancho de dedo de 1 μm y una distancia de paso de 5 μm .

La Figura 23 muestra una imagen de microscopio óptico de electrodos estampados después del despegue con un ancho de dedo de 1 μm y una distancia de paso de 10 μm .

La Figura 24 muestra una imagen de microscopio óptico de electrodos estampados después del despegue con un ancho de dedo de 1 μm y una distancia de paso de 20 μm .

La Figura 25 muestra la corriente de cortocircuito medida bajo luz para dispositivos con distancias de paso de dedo de 1 μm , 5 μm , 10 μm y 20 μm . La capa de transporte de electrones usada es TiO_2 revestido por rotación.

La Figura 26 muestra la corriente de cortocircuito medida bajo luz para dispositivos con capas de transporte de electrones de TiO_2 revestido por rotación, SnO_2 revestido por rotación y TiO_2 revestido por pulverización con distancias de paso de dedo de 1 μm (solo TiO_2 revestido por rotación), 5 μm , 10 μm y 20 μm (normalizada a la J_{sc} a 5 μm). La capa de transporte de electrones usada es TiO_2 revestido por rotación.

La Figura 27 muestra un esquema de electrodos posteriores con forma circular con una capa de transporte de electrones en la parte inferior y un electrodo de transporte de huecos separados por un aislante.

La Figura 28 muestra una imagen de vista superior de SEM de una capa de PAA estampada mediante litografía de microesferas. El diámetro del hueco es ligeramente inferior a 1 μm , que es el diámetro de las perlas que se ensamblaron en un patrón estrechamente hexagonal para crear este patrón.

La Figura 29 muestra una imagen de vista superior de SEM de una capa de PAA estampada revestida con oro mediante litografía de microesferas.

Descripción detallada de la invención

Definiciones

La expresión "material fotoactivo", como se usa en el presente documento, se refiere a un material que (i) absorbe luz, que a continuación puede generar portadores de carga libre; o bien (ii) acepta la carga, tanto electrones como huecos, que posteriormente puede recombinarse y emitir luz. Un material fotoabsorbente es un material que absorbe luz, que a continuación puede generar portadores de carga libre (por ejemplo, electrones y huecos). Los materiales fotoactivos son ejemplos de materiales semiconductores. Un "material fotoemisor" es un material que absorbe luz de energías superiores a la banda prohibida y reemite luz a energías en la banda prohibida.

La expresión "compuesto cristalino", como se usa en el presente documento, se refiere a un compuesto con una estructura cristalina tridimensional que comprende dos o más tipos de iones.

El término "monocatión", como se usa en el presente documento, se refiere a cualquier catión con una sola carga positiva, es decir, un catión de fórmula A^+ donde A es cualquier resto, por ejemplo, un átomo de metal o un resto orgánico. El término "dicatión", como se usa en el presente documento, se refiere a cualquier catión con una doble carga positiva, es decir, un catión de fórmula A^{2+} donde A es cualquier resto, por ejemplo, un átomo de metal o un resto orgánico. El término "tricatión", como se usa en el presente documento, se refiere a cualquier catión con una carga positiva triple, es decir, un catión de fórmula A^{3+} donde A es cualquier resto, por ejemplo, un átomo de metal.

El término "semiconductor" o "material semiconductor", como se usa en el presente documento, se refiere a un material con conductividad eléctrica de magnitud intermedia entre la de un conductor y un dieléctrico. Un semiconductor puede

ser un semiconductor tipo negativo (n), un semiconductor tipo positivo (p) o un semiconductor intrínseco (i). Un semiconductor puede tener una banda prohibida de 0,5 a 3,5 eV, por ejemplo, de 0,5 a 2,5 eV o de 1,0 a 2,0 eV (cuando se mide a 300 K).

- 5 El término "alquilo", como se usa en el presente documento, se refiere a un radical hidrocarburo saturado de cadena lineal o ramificada. Un grupo alquilo puede ser un grupo alquilo C₁₋₂₀, un grupo alquilo C₁₋₁₄, un grupo alquilo C₁₋₁₀, un grupo alquilo C₁₋₆ o un grupo alquilo C₁₋₄. Ejemplos de grupos alquilos C₁₋₆ son metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo o hexilo. Ejemplos de grupos alquilos C₁₋₄ son metilo, etilo, i-propilo, n-propilo, t-butilo, s-butilo o n-butilo. Si el término "alquilo" se usa sin un prefijo que especifique el número de carbonos en cualquier parte del presente documento, tiene
10 de 1 a 6 carbonos (y esto también se aplica a cualquier otro grupo orgánico al que se haga referencia en el presente documento).

- El término "arilo", como se usa en el presente documento, se refiere a un anillo aromático monocíclico, bicíclico o policíclico que contiene de 6 a 14 átomos de carbono, normalmente de 6 a 10 átomos de carbono, en la porción de anillo. Entre los ejemplos se incluyen los grupos fenilo, naftilo, indenilo, indanilo, antrecenilo y pirenilo. La expresión "grupo arilo", como se usa en el presente documento, incluye grupos heteroarilo. El término "heteroarilo", como se usa en el presente documento, se refiere a anillos heteroaromáticos monocíclicos o bicíclicos que contienen normalmente de seis a diez átomos en la porción de anillo que incluye uno o más heteroátomos. Un grupo heteroarilo es generalmente un anillo de 5 o 6 miembros, que contiene al menos un heteroátomo seleccionado de O, S, N, P, Se y Si. Puede contener, por ejemplo, uno, dos o tres heteroátomos. Ejemplos de grupos heteroarilo incluyen piridilo, pirazinilo, pirimidinilo, piridazinilo, furanilo, tienilo, pirazolidinilo, pirrolilo, oxazolilo, oxadiazolilo, isoxazolilo, tiadiazolilo, tiazolilo, isotiazolilo, imidazolilo, pirazolilo, quinolilo e isoquinolilo.

- El término "sustituido", como se usa en el presente documento en el contexto de grupos orgánicos sustituidos, se refiere a un grupo orgánico que lleva uno o más sustituyentes seleccionados de alquilo C₁₋₁₀, arilo (como se define en el presente documento), ciano, amino, nitro, C₁₋₁₀ alquilamino, di(C₁₋₁₀)alquilamino, arilamino, diarilamino, arilo(C₁₋₁₀)alquilamino, amido, acilamido, hidroxilo, oxo, halos, carboxi, éster, acilo, aciloxi, alcoxi C₁₋₁₀, ariloxi, halo(C₁₋₁₀)alquilo, ácido sulfónico, tiol, alquiltio C₁₋₁₀, ariltio, sulfonilo, ácido fosfórico, éster de fosfato, ácido fosfónico y éster de fosfonato. Ejemplos de grupos alquilo sustituidos incluyen haloalquilo, perhaloalquilo, hidroxialquilo, aminoalquilo, grupos
30 alcóxialquilo y alcarilo. Cuando se sustituye un grupo, puede tener 1, 2 o 3 sustituyentes. Por ejemplo, un grupo sustituido puede tener 1 o 2 sustituyentes.

- El término "poroso", como se usa en el presente documento, se refiere a un material dentro del que se disponen los poros. Por tanto, por ejemplo, en un material de armazón poroso, los poros son volúmenes dentro del armazón donde no hay material de armazón. Los poros individuales pueden tener el mismo tamaño o diferentes tamaños. El tamaño de los poros se define como el "tamaño de poro". El tamaño límite de un poro, para la mayoría de los fenómenos en los que están involucrados los sólidos porosos, es el de su dimensión más pequeña que, en ausencia de cualquier precisión adicional, se denomina ancho del poro (es decir, el ancho de un poro en forma de hendidura, el diámetro de un poro cilíndrico o esférico, etc.). Para evitar un cambio engañoso en la escala al comparar poros cilíndricos y en forma de hendidura, se debe usar el diámetro de un poro cilíndrico (en lugar de su longitud) como su "ancho de poro" (J. Rouquerol y col., "Recommendations for the Characterization of Porous Solids", Pure & Appl. Chem., Vol. 66, N.º 8, págs. 1739-1758, 1994). Las siguientes distinciones y definiciones se adoptaron en documentos anteriores de la IUPAC (K.S.W. Sing, y col., Pure and Appl. Chem., vol. 57, n04, págs. 603-919, 1985; y IUPAC "Manual on Catalyst Characterization", J. Haber, Pure and Appl. Chem., vol. 63, págs. 1227-1246, 1991): los microporos tienen anchos (es decir, tamaños de poro) inferiores a 2 nm; Los mesoporos tienen anchos (es decir, tamaños de poro) de 2 nm a 50 nm; y los macroporos tienen anchos (es decir, tamaños de poro) superiores a 50 nm. De forma adicional, se puede considerar que los nanoporos tienen anchos (es decir, tamaños de poro) de menos de 1 nm.

- Los poros en un material pueden incluir poros "cerrados" así como poros abiertos. Un poro cerrado es un poro en un material que es una cavidad no conectada, es decir, un poro que está aislado dentro del material y no conectado a ningún otro poro y al que, por lo tanto, no puede acceder un fluido (por ejemplo, un líquido, tal como una solución) a la que se expone el material. Un "poro abierto" por otro lado, sería accesible por tal fluido. Los conceptos de porosidad abierta y cerrada se analizan en detalle en J. Rouquerol y col., "Recommendations for the Characterization of Porous Solids", Pure & Appl. Chem., Vol. 66, N.º 8, págs. 1739-1758, 1994.

- La porosidad abierta, se refiere, por lo tanto, a la fracción del volumen total del material poroso en el que el flujo de fluido podría tener lugar de manera efectiva. Por lo tanto, excluye los poros cerrados. La expresión "porosidad abierta" es intercambiable con las expresiones "porosidad conectada" y "porosidad efectiva", y en la técnica se reduce comúnmente simplemente a "porosidad".

- La expresión "sin porosidad abierta", como se usa en el presente documento, se refiere, por lo tanto, a un material sin porosidad abierta efectiva. Por tanto, un material sin porosidad abierta normalmente no tiene macroporos ni mesoporos. Un material sin porosidad abierta puede comprender microporos y nanoporos, sin embargo. Tales microporos y nanoporos son normalmente demasiado pequeños para tener un efecto negativo en un material para el que se desea una baja porosidad.

La expresión "capa compacta", como se usa en el presente documento, se refiere a una capa sin mesoporosidad o macroporosidad. Una capa compacta puede tener a veces microporosidad o nanoporosidad.

La expresión "dispositivo optoelectrónico", como se usa en el presente documento, se refiere a dispositivos cuya fuente, controla, detecta o emite luz. Se entiende que la luz incluye cualquier radiación electromagnética. Ejemplos de dispositivos optoelectrónicos incluyen dispositivos fotovoltaicos, fotodiodos (incluyendo células solares), fototransistores, fotomultiplicadores, fotodetectores, fotorresistores, dispositivos emisores de luz, diodos emisores de luz y láseres de inyección de carga.

La expresión "que consiste esencialmente en" se refiere a una composición que comprende los componentes de los que consiste esencialmente, así como otros componentes, siempre que los otros componentes no afecten materialmente a las características esenciales de la composición. Normalmente, una composición que consiste esencialmente en ciertos componentes comprenderá más de o igual al 95 % en peso de esos componentes o más de o igual al 99 % en peso de esos componentes.

El término "capa", como se usa en el presente documento, se refiere a cualquier estructura que sea sustancialmente laminar en forma (por ejemplo, que se extiende sustancialmente en dos direcciones perpendiculares, pero limitada en su extensión en la tercera dirección perpendicular). Una capa puede tener un espesor variable. La forma de una capa cuando se ve en planta (por ejemplo, en la tercera dirección perpendicular) puede ser continua y completa en una cierta región, por ejemplo, un área rectangular, o puede tener regiones que contienen el material que forma la capa y regiones que no contienen el material que forma la capa. En el último caso, la capa puede, por ejemplo, comprender una pluralidad de regiones rectangulares estrechas (es decir, tiras) del material que constituye la capa, que puede estar conectada, por ejemplo, por una tira adicional que corre perpendicular para formar una capa de material similar a un peine. En algunos casos, una capa de un material puede comprender una pluralidad de regiones no conectadas del material siempre que estas regiones estén todas contenidas dentro de una región similar a una capa. "Capa" no se limita a capas individuales de un solo material, sino que incluye cualquier sistema multicapa de uno o más materiales, siempre que, en conjunto, el sistema multicapa constituya una capa.

Dispositivo optoelectrónico

La invención proporciona un dispositivo optoelectrónico que comprende:

- (a) un sustrato que comprende al menos un primer electrodo, cuyo al menos un primer electrodo comprende un primer material de electrodo, y al menos un segundo electrodo, cuyo al menos un segundo electrodo comprende un segundo material de electrodo; y
- (b) una capa de un material fotoactivo dispuesta sobre el sustrato, cuyo material fotoactivo está en contacto con el al menos un primer electrodo y el al menos un segundo electrodo,

cuyo sustrato comprende:

- una capa del primer material de electrodo; y,
- dispuesta sobre la capa del primer material de electrodo, una capa de un material aislante, cuya capa de un material aislante cubre parcialmente la capa del primer material de electrodo; y,
- dispuesto sobre la capa del material aislante, el segundo material de electrodo,

en donde el material fotoactivo comprende un compuesto cristalino que es una perovskita, cuya perovskita comprende:

- uno o más primeros cationes seleccionados de cationes metálicos o metaloides;
- uno o más segundos cationes seleccionados de Cs^+ , Rb^+ , K^+ , NH_4^+ y cationes orgánicos; y
- uno o más aniones de haluro o calcogenuro, y

en donde el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo optoelectrónico de contacto posterior, en el que:

el sustrato tiene un primer lado en el que están dispuestos el uno o más primer y segundo electrodos, y la capa del material fotoactivo está dispuesta en el primer lado del sustrato; y la capa del material fotoactivo tiene un primer lado y un segundo lado, y el primer lado de la capa del material fotoactivo está en contacto con el sustrato.

La capa de un material aislante cubre parcialmente la capa del primer material de electrodo. Por tanto, cuando se ve en planta, el área de la capa de un material aislante solo cubre parcialmente la capa del primer material de electrodo. La capa del primer material de electrodo es normalmente una capa continua y completa que se extiende sobre sustancialmente todo el sustrato (o al menos la parte del sustrato que comprende el primer y segundo electrodos). Por ejemplo, la capa de un primer material de electrodo puede tener la forma de una capa sustancialmente rectangular completa del primer material de electrodo. La capa del material aislante es normalmente una capa incompleta que se extiende sobre solo una parte del sustrato. Por ejemplo, la capa del material aislante puede tener la forma de una estructura similar a un peine dispuesta sobre la capa del primer material de electrodo. La capa del material aislante

puede ser, como alternativa, una capa del material aislante, cuya capa tiene una pluralidad de huecos que pueden ser sustancialmente, rectangulares, sustancialmente circulares o de cualquier otra forma. En la Figura 9 se muestran ejemplos de las formas que puede adoptar la capa del material aislante.

- 5 La capa de un material aislante cubre normalmente menos o igual al 80 % del área de la capa del primer material de electrodo cuando se ve en planta. Por tanto, si una capa rectangular del primer material de electrodo tiene un área de 10,0 cm² cuando se ve en planta (aunque no todo el material del primer electrodo será visible debido a la capa del material aislante) y la capa del material aislante dispuesta sobre la misma tiene un área de 7,0 cm² cuando se ve en planta, el material aislante cubre el 70 % del área de la capa del primer material de electrodo cuando se ve en planta.
- 10 La capa de un material aislante cubre a menudo menos o igual al 70 %, o menos o igual al 60%, del área de la capa del primer material de electrodo cuando se ve en planta. La capa de un material aislante a menudo cubre más de o igual al 20 %, o más de o igual al 30 %, del área de la capa del primer material de electrodo cuando se ve en planta. Por ejemplo, la capa de un material aislante puede cubrir del 30 % al 70 % del área de la capa del primer material de electrodo, por ejemplo, del 40 % al 60 %.

- 15 La capa del segundo material de electrodo está dispuesta sobre la capa del material aislante. La capa del segundo material de electrodo normalmente no está dispuesta sobre la capa del primer material de electrodo. Por tanto, cuando se ve en planta, la capa del segundo material de electrodo cubre también parcialmente la capa del primer material de electrodo, pero sustancialmente no está en contacto con la capa del primer material de electrodo. Cuando se ve en planta, la capa del segundo material de electrodo cubre, por lo tanto, normalmente un área menor o igual al área cubierta por la capa del material aislante. La capa del segundo material de electrodo puede cubrir, en algunos casos, un área mayor que el área cubierta por la capa del material aislante, pero sin que la capa del segundo material de electrodo entre en contacto con la capa del primer material de electrodo.

- 25 La capa del segundo material de electrodo a menudo se superpone sobre la capa del material aislante. Por tanto, la capa del segundo material de electrodo y la capa del material aislante tienen normalmente sustancialmente el mismo contorno y están superpuestas entre sí. Esto se logra normalmente depositando la capa del material aislante y la capa del segundo material de electrodo en la misma etapa de litografía. La retirada de la resistencia deja después el mismo patrón tanto del material aislante como del segundo material de electrodo.

- 30 Una o más capas adicionales pueden estar presentes entre la capa del primer material de electrodo y la capa del material aislante, o entre la capa del material aislante y la capa del segundo electrodo, si es necesario. Normalmente, la capa del material aislante está dispuesta directamente sobre, y en contacto con, la capa del primer material de electrodo. Normalmente, la capa del segundo material de electrodo está dispuesta directamente sobre, y en contacto con, la capa del material aislante. En algunos casos, puede disponerse una capa de un material adhesivo (por ejemplo, cromo) entre la capa del primer material de electrodo y la capa del material aislante, o entre la capa del material aislante y la capa del segundo electrodo.

- 40 El material fotoactivo tiene normalmente una longitud de difusión de electrones y huecos menor o igual a 80 μm. A menudo, el material fotoactivo tiene normalmente una longitud de difusión de electrones y huecos mayor o igual a 100 nm. Por ejemplo, la longitud de difusión de electrones y huecos puede ser menor o igual a 50 μm, o menor o igual a 10 μm. En algunos casos, el material fotoactivo normalmente tiene una longitud de difusión de electrones y huecos de 100 nm a 5 μm, por ejemplo, de 500 nm a 1,5 μm. Los electrones en pares de electrones y huecos pueden tener una longitud de difusión de electrones de 100 nm a 5 μm. Los huecos en pares de electrones y huecos pueden tener una longitud de difusión de electrones de 100 nm a 5 μm. Las longitudes de difusión de electrones y huecos pueden medirse usando técnicas conocidas, por ejemplo, aquellas expuestas en Shaw y col., Adv. Mater. 20, 3516-3520 (2008) o en Stranks y col., Science 342, 341 (2013). Las longitudes de difusión son normalmente las que se miden modelando el decaimiento fotoluminiscente del material fotoactivo a una ecuación de difusión con y sin una capa de extinción. Las mediciones se realizan normalmente a 20 °C.

- 50 En el compuesto cristalino, el uno o más primeros cationes son normalmente cationes metálicos o metaloides seleccionados de Pd⁴⁺, W⁴⁺, Re⁴⁺, Os⁴⁺, Ir⁴⁺, Pt⁴⁺, Sn⁴⁺, Pb⁴⁺, Ge⁴⁺, Te⁴⁺, Bi³⁺, Sb³⁺, Sn²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Mn²⁺, Fe²⁺, Co²⁺, Pd²⁺, Ge²⁺, Sn²⁺, Pb²⁺, Yb²⁺, Eu²⁺, Au⁺, Ag⁺ y Cu⁺. El uno o más primeros cationes son preferiblemente dicaciones metálicos o metaloides seleccionados de Sn²⁺, Pb²⁺, Cu²⁺ y Ge²⁺.

- 55 En el compuesto cristalino, el uno o más segundos cationes son normalmente uno o más monocationes seleccionados de Cs⁺, Rb⁺, K⁺ y monocationes orgánicos. Por ejemplo, el uno o más segundos cationes pueden ser uno o más monocationes orgánicos. Normalmente, el uno o más segundos cationes son el uno o más monocationes orgánicos que se seleccionan de (NR¹R²R³R⁴)⁺, (R¹R²N-CR³R⁴)⁺, (R¹R²N-C(R⁵)-NR³R⁴)⁺ y (R¹R²N-C(NR⁵R⁶)=NR³R⁴)⁺, y cada uno de R¹, R², R³, R⁴, R⁵ y R⁶ es independientemente H, un grupo alquilo C₁₋₂₀ sustituido o no sustituido o un grupo arilo sustituido o no sustituido. R¹, R², R³, R⁴, R⁵ y R⁶ son normalmente independientemente H, un grupo alquilo C₁₋₆ sustituido o no sustituido o un grupo arilo sustituido o no sustituido. Preferiblemente R¹, R², R³, R⁴, R⁵ y R⁶ son independientemente H, o un grupo alquilo C₁₋₆ sustituido. Por ejemplo, R¹, R², R³, R⁴, R⁵ y R⁶ puede ser independientemente H, metilo, etilo o propilo.

- 65 Preferiblemente, el uno o más segundos cationes se seleccionan de (R¹NH₃)⁺, (NR²)⁺, y (H₂N-C(R¹)=NH₂)⁺, en donde

R^1 es H, un grupo alquilo C_{1-20} sustituido o no sustituido o un grupo arilo sustituido o no sustituido, y cada R^2 es independientemente H, o un grupo alquilo C_{1-10} sustituido o no sustituido. A menudo, R^1 es H o un grupo alquilo C_{1-6} no sustituido y cada R^2 es un grupo alquilo C_{1-6} no sustituido. Por ejemplo, R^1 puede ser H, metilo, etilo o propilo y cada R^2 puede ser metilo, etilo y propilo. Todo R^2 puede ser el mismo y puede ser metilo, etilo y propilo. Por ejemplo, el uno o más segundos cationes pueden seleccionarse de Cs^+ , $(CH_3NH_3)^+$, $(CH_3CH_2NH_3)^+$, $(CH_3CH_2CH_2NH_3)^+$, $(N(CH_3)_4)^+$, $(N(CH_2CH_3)_4)^+$, $(N(CH_2CH_2CH_3)_4)^+$, $(H_2N-C(H)=NH_2)^+$ y $(H_2N-C(CH_3)=NH_2)^+$. A menudo, el uno o más segundos cationes son un solo catión que es $(CH_3NH_3)^+$, $(CH_3CH_2NH_3)^+$ o $(CH_3CH_2CH_2NH_3)^+$. Por ejemplo, el segundo catión puede ser $(CH_3NH_3)^+$.

- 10 En el compuesto cristalino, el uno o más aniones se seleccionan normalmente de F^- , Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-} , Se^{2-} , y Te^{2-} . Normalmente, el uno o más aniones se seleccionan de F^- , Cl^- , Br^- e I^- , por ejemplo, Cl^- , Br^- e I^- .

Por tanto, el compuesto cristalino puede ser un compuesto que tiene la fórmula



en donde [A] es dicho uno o más segundos cationes, [M] es dicho uno o más primeros cationes, [X] es uno o más aniones de haluro o calcogenuro, a es un número entero de 1 a 6, b es un número entero de 1 a 6, y c es un número entero de 1 a 18. a es a menudo un número entero de 1 a 3, b es a menudo un número entero de 1 a 3, y c es a menudo un número entero de 1 a 8.

- Si [A] es un catión (A), [M] son dos cationes (M^1 y M^2), y [X] es un anión (X), el material cristalino puede comprender un compuesto de fórmula $A_a(M^1, M^2)_bX_c$. [A] puede representar uno, dos o más iones A. Si [A], [M] o [X] es más de un ion, esos iones pueden estar presentes en cualquier proporción. Por ejemplo, $A_a(M^1, M^2)_bX_c$ incluye todos los compuestos de fórmula $A_aM^1_{by}M^2_{b(1-y)}X_c$ en donde y está entre 0 y 1, por ejemplo, de 0,05 a 0,95. Dichos materiales pueden denominarse materiales de iones mixtos.

- El compuesto cristalino comprende una perovskita. Preferiblemente, el compuesto cristalino es perovskita. El compuesto cristalino es a menudo una perovskita de haluro metálico. El compuesto cristalino es a menudo una perovskita de haluro organometálico.

Normalmente, el compuesto cristalino es una perovskita de fórmula (I):

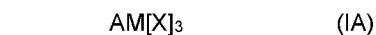


en donde: [A] es dicho uno o más segundos cationes, [M] es dicho uno o más primeros cationes, [X] es uno o más aniones de haluro o calcogenuro.

- [A] puede ser al menos un catión como se describe en el presente documento para el segundo catión. Por ejemplo, [A] puede ser uno o más cationes seleccionados de Cs^+ , $(NR^1R^2R^3R^4)^+$, $(R^1R^2N=CR^3R^4)^+$, $(R^1R^2N-C(R^5)=NR^3R^4)^+$ y $(R^1R^2N-C(NR^5R^6)=NR^3R^4)^+$, en donde cada uno de R^1 , R^2 , R^3 , R^4 , R^5 y R^6 es independientemente H, un grupo alquilo C_{1-20} sustituido o no sustituido o un grupo arilo sustituido o no sustituido. R^1 , R^2 , R^3 , R^4 , R^5 y R^6 pueden ser independientemente H, o un grupo alquilo C_{1-6} no sustituido. [A] puede ser uno o más cationes orgánicos seleccionados de $(CH_3NH_3)^+$, $(CH_3CH_2NH_3)^+$, $(CH_3CH_2CH_2NH_3)^+$, $(N(CH_3)_4)^+$, $(H_2N-C(H)=NH_2)^+$ y $(H_2N-C(CH_3)=NH_2)^+$. [A] puede ser un único catión seleccionado de $(CH_3NH_3)^+$, $(CH_3CH_2NH_3)^+$, $(CH_3CH_2CH_2NH_3)^+$, $(N(CH_3)_4)^+$, $(H_2N-C(H)=NH_2)^+$ y $(H_2N-C(CH_3)=NH_2)^+$. A es a menudo $(CH_3NH_3)^+$, $(CH_3CH_2NH_3)^+$ o $(CH_3CH_2CH_2NH_3)^+$.

- [A] puede ser al menos un catión como se describe en el presente documento para el primer catión. Por ejemplo, [M] puede ser uno o más cationes seleccionados de Ca^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Pd^{2+} , Ge^{2+} , Sn^{2+} , Pb^{2+} , Yb^{2+} y Eu^{2+} .

En una realización, la perovskita es un compuesto de perovskita de fórmula (IA):



en donde: A es uno de dicho segundo catión que es un catión orgánico; M es uno de dicho primer catión que es un catión metálico; y [X] es dos o más aniones de haluro diferentes. Preferiblemente, [X] es dos o tres aniones de haluro diferentes. Más preferiblemente, [X] son dos aniones de haluro diferentes. El catión orgánico y el catión metálico pueden ser como se ha definido anteriormente para el segundo catión y el primer catión respectivamente.

El material fotoactivo puede, por ejemplo, comprender un compuesto de perovskita de fórmula (IB):



en donde: A es dicho segundo catión; M es dicho primer catión; X es un primer anión de haluro; X' es un segundo anión de haluro que es diferente del primer anión de haluro; y x es de 0 a 3. Usualmente, x es de 0,05 a 0,95. Por

ejemplo, x puede ser de 0,5 a 2,5 o de 0,75 a 2,25. Normalmente, x es de 1 a 2.

El material fotoactivo puede comprender, o consistir esencialmente en, un compuesto de perovskita seleccionado de APbI₃, APbBr₃, APbCl₃, APbF₃, APbBr_xCl_{3-x}, APbBr_xCl_{3-x}, APbI_xBr_{3-x}, APbI_xCl_{3-x}, APbCl_xBr_{3-x}, APbI_{3-x}Cl_x, ASnI₃, ASnBr₃, ASnCl₃, ASnF₃, ASnBrI₂, ASnBr_xCl_{3-x}, ASnBr_xCl_{3-x}, ASnF_{3-x}Br_x, ASnI_xBr_{3-x}, ASnI_xCl_{3-x}, ASnF_{3-x}I_x, ASnCl_xBr_{3-x}, ASnI_{3-x}Cl_x y ASnF_{3-x}Cl_x, ACuI₃, ACuBr₃, ACuCl₃, ACuF₃, ACuBrI₂, ACuBr_xCl_{3-x}, ACuBr_xCl_{3-x}, ACuF_{3-x}Br_x, ACuI_xBr_{3-x}, ACuI_xCl_{3-x}, ACuF_{3-x}I_x, ACuCl_xBr_{3-x}, ACuI_{3-x}Cl_x y ACuF_{3-x}Cl_x donde x es de 0 a 3, y en donde A es un catión orgánico como se describe en el presente documento o un catión de amonio. x puede ser de 0,05 a 2,96. Por ejemplo, x puede ser de 0,1 a 2,9 o de 0,5 a 2,5. En algunos casos, x es de 0,75 a 2,25 o de 1 a 2.

El material fotoactivo puede comprender, o consistir esencialmente en, un compuesto de perovskita seleccionado de CH₃NH₃PbI₃, CH₃NH₃PbBr₃, CH₃NH₃PbCl₃, CH₃NH₃PbF₃, CH₃NH₃PbBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃PbBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃PbI_xBr_{3-x}, CH₃NH₃PbI_xCl_{3-x}, CH₃NH₃PbCl_xBr_{3-x}, CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x, CH₃NH₃SnI₃, CH₃NH₃SnBr₃, CH₃NH₃SnCl₃, CH₃NH₃SnF₃, CH₃NH₃SnBrI₂, CH₃NH₃SnBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃SnBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃SnF_{3-x}Br_x, CH₃NH₃SnI_xBr_{3-x}, CH₃NH₃SnI_xCl_{3-x}, CH₃NH₃SnF_{3-x}I_x, CH₃NH₃SnCl_xBr_{3-x}, CH₃NH₃SnI_{3-x}Cl_x y CH₃NH₃SnF_{3-x}Cl_x, CH₃NH₃CuI₃, CH₃NH₃CuBr₃, CH₃NH₃CuCl₃, CH₃NH₃CuF₃, CH₃NH₃CuBrI₂, CH₃NH₃CuBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃CuBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃CuF_{3-x}Br_x, CH₃NH₃CuI_xBr_{3-x}, CH₃NH₃CuI_xCl_{3-x}, CH₃NH₃CuF_{3-x}I_x, CH₃NH₃CuCl_xBr_{3-x}, CH₃NH₃CuI_{3-x}Cl_x y CH₃NH₃CuF_{3-x}Cl_x donde x es de 0 a 3. x puede ser de 0,05 a 2,95. Por ejemplo, x puede ser de 0,1 a 2,9 o de 0,5 a 2,5. En algunos casos, x es de 0,75 a 2,25 o de 1 a 2. Por ejemplo, si el primer catión es Pb²⁺, el segundo catión es CH₃NH₃⁺ y el segundo anión es I⁻, entonces el material cristalino puede comprender o consistir esencialmente en CH₃NH₃PbI₃.

El material fotoactivo puede comprender, o consistir esencialmente en, un compuesto de perovskita seleccionado de CH₃NH₃PbI₃, CH₃NH₃PbBr₃, CH₃NH₃PbCl₃, CH₃NH₃PbF₃, CH₃NH₃PbBrI₂, CH₃NH₃PbBrCl₂, CH₃NH₃PbI₂Br₂, CH₃NH₃PbI₂Cl₂, CH₃NH₃PbCl₂Br₂, CH₃NH₃PbI₂Cl₂, CH₃NH₃SnI₃, CH₃NH₃SnBr₃, CH₃NH₃SnCl₃, CH₃NH₃SnF₃, CH₃NH₃SnBrI₂, CH₃NH₃SnBrCl₂, CH₃NH₃SnF₂Br, CH₃NH₃SnI₂Br₂, CH₃NH₃SnI₂Cl₂, CH₃NH₃SnF₂I, CH₃NH₃SnCl₂Br₂, CH₃NH₃SnI₂Cl₂ y CH₃NH₃SnF₂Cl.

El material fotoactivo puede comprender, o consistir esencialmente en, un compuesto de perovskita seleccionado de CH₃NH₃PbBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃PbBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃PbI_xBr_{3-x}, CH₃NH₃PbI_xCl_{3-x}, CH₃NH₃PbCl_xBr_{3-x}, CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x, CH₃NH₃SnBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃SnBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃SnF_{3-x}Br_x, CH₃NH₃SnI_xBr_{3-x}, CH₃NH₃SnI_xCl_{3-x}, CH₃NH₃SnF_{3-x}I_x, CH₃NH₃SnCl_xBr_{3-x}, CH₃NH₃SnI_{3-x}Cl_x y CH₃NH₃SnF_{3-x}Cl_x, donde x es de 0,05 a 2,95. Por ejemplo, x puede ser de 0,5 a 2,5, de 0,75 a 2,25 o de 1 a 2.

Preferiblemente, el material fotoactivo comprende, o consiste esencialmente en, un compuesto de perovskita seleccionado de CH₃NH₃PbI₃, CH₃NH₃SnI₃, NH₄CuCl₂Br, CH₃NH₃CuCl₃, y CH₃NH₃CuCl₂Br.

En una realización, el compuesto cristalino es un compuesto (perovskita estratificada) de fórmula (II):



en donde: [A] es dicho uno o más segundos cationes, [M] es dicho uno o más primeros cationes que son uno o más dicaciones metálicos o metaloides, [X] es uno o más aniones de haluro o calcogenuro.

A menudo, el material fotoactivo comprende un compuesto cristalino que es CH₃NH₃PbI₃, CH₃NH₃PbBr₃, CH₃NH₃PbCl₃, CH₃NH₃PbF₃, CH₃NH₃PbBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃PbBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃PbI_xBr_{3-x}, CH₃NH₃PbI_xCl_{3-x}, CH₃NH₃PbCl_xBr_{3-x}, CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x, CH₃NH₃SnI₃, CH₃NH₃SnBr₃, CH₃NH₃SnCl₃, CH₃NH₃SnF₃, CH₃NH₃SnBrI₂, CH₃NH₃SnBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃SnBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃SnF_{3-x}Br_x, CH₃NH₃SnI_xBr_{3-x}, CH₃NH₃SnI_xCl_{3-x}, CH₃NH₃SnF_{3-x}I_x, CH₃NH₃SnCl_xBr_{3-x}, CH₃NH₃SnI_{3-x}Cl_x y CH₃NH₃SnF_{3-x}Cl_x, CH₃NH₃CuI₃, CH₃NH₃CuBr₃, CH₃NH₃CuCl₃, CH₃NH₃CuF₃, CH₃NH₃CuBrI₂, CH₃NH₃CuBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃CuBr_xCl_{3-x}, CH₃NH₃CuF_{3-x}Br_x, CH₃NH₃CuI_xBr_{3-x}, CH₃NH₃CuI_xCl_{3-x}, CH₃NH₃CuF_{3-x}I_x, CH₃NH₃CuCl_xBr_{3-x}, CH₃NH₃CuI_{3-x}Cl_x o CH₃NH₃CuF_{3-x}Cl_x donde x es de 0 a 3. El material fotoactivo puede comprender, por ejemplo, más del 95 % en peso de una o más de estas perovskitas.

El primer material de electrodo comprende normalmente un óxido conductor transparente o un metal. La mayor parte del primer electrodo puede estar formada por un primer material de electrodo que es un metal o un óxido conductor transparente (TCO). El primer material de electrodo puede comprender más o igual al 60 % en peso de un óxido conductor transparente o un metal.

El primer material de electrodo comprende normalmente: un óxido conductor transparente seleccionado de: óxido de indio y estaño (ITO); óxido de estaño dopado con un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, galio, magnesio, cadmio, indio, estaño, escandio, itrio, cobalto, manganeso, cromo y boro; óxido de estaño dopado con flúor (FTO); u óxido de zinc dopado con un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, galio, magnesio, cadmio, indio, estaño, escandio, itrio, cobalto, manganeso, cromo y boro; o un metal seleccionado de titanio, aluminio, cobre, plata, oro, níquel o platino. Preferiblemente, el primer material de electrodo comprende un óxido conductor transparente seleccionado ITO, FTO y óxido de zinc dopado con aluminio (AZO). El primer material de electrodo puede comprender una capa de un electrodo conductor transparente, por ejemplo, una capa de un electrodo conductor transparente que tiene un espesor de 100 nm a 1000 nm.

El primer electrodo es normalmente un electrodo selectivo de electrones (pero como alternativa puede ser un electrodo selectivo de huecos como se analiza a continuación). Por lo tanto, el primer material de electrodo a menudo comprende además un semiconductor tipo n. Por ejemplo, el primer material de electrodo puede comprender una parte mayoritaria de un óxido conductor metálico o transparente como parte conductora y una parte menor de un semiconductor tipo n como parte selectiva de electrones. Por ejemplo, el primer material de electrodo puede comprender una capa de un óxido conductor metálico o transparente y, dispuesta sobre la misma, una capa de un semiconductor tipo n.

El primer material de electrodo comprende normalmente además un semiconductor tipo n seleccionado de: óxidos de titanio, estaño, zinc, estroncio, circonio, niobio, tantalio, indio, galio, neodimio, paladio y cadmio, opcionalmente en donde el semiconductor tipo n es dióxido de titanio; calcogenuros, óxidos y oxisulfuros de cadmio, estaño, zinc, plomo y bismuto, opcionalmente en donde el semiconductor tipo n se selecciona de CdS, CdSe, ZnS, ZnSe, SnS, SnSe, PbS, PbSe, Bi₂S₃, Bi₂Se₃, ZnO_{1-x}S_x y SnO_{1-x}S_x; semiconductores orgánicos tipo n, opcionalmente en donde los semiconductores orgánicos tipo n se seleccionan de C₆₀, C₇₀ y derivados de los mismos, hidrocarburos poliaromáticos y derivados de los mismos, semiconductores orgánicos poliméricos tipo n, polifluorenos, poliarilenos, copolímeros de perileno-tiofeno y copolímeros de polifluoreno-arilamina.

Los ejemplos de semiconductores tipo n incluyen un óxido metálico, un sulfuro metálico, un selenuro de metal, un telururo de metal, una perovskita, Si amorfo, un semiconductor del grupo IV tipo n, un semiconductor del grupo III-V tipo n, un semiconductor del grupo II-VI tipo n, un semiconductor del grupo I-VII tipo n, un semiconductor del grupo IV-VI tipo n, un semiconductor del grupo V-VI tipo n y un semiconductor del grupo II-V tipo n, cualquiera de los que puede estar dopado o no dopado; un óxido de titanio, estaño, zinc, niobio, tantalio, tungsteno, indio, galio, neodimio, paladio o cadmio o un óxido de una mezcla de dos o más de dichos metales; TiO₂, SnO₂, ZnO, Nb₂O₅, Ta₂O₅, WO₃, W₂O₅, In₂O₃, Ga₂O₃, Nd₂O₃, PbO, CdO, FeS₂, CdS, ZnS, SnS, BiS, SbS o Cu₂ZnSnS₄; CdS, CdSe, ZnS, ZnSe, SnS, SnSe, PbS, PbSe, Bi₂S₃, Bi₂Se₃, ZnO_{1-x}S_x, SnO_{1-x}S_x; un seleniuro de cadmio, zinc, indio o galio o un seleniuro de una mezcla de dos o más de dichos metales; o un telururo de cadmio, zinc, cadmio o estaño, o un telururo de una mezcla de dos o más de dichos metales; Cu(In,Ga)Se₂, CdTe; un fullereno o un derivado de fullereno (por ejemplo, C₆₀ o éster metílico del ácido fenil-C₆₁-butírico (PCBM)), un material orgánico de transporte de electrones que comprende perileno o un derivado del mismo, o poli{[N,N0-bis(2-octildodecil)-naftaleno-1,4,5,8-bis(dicarboximida)-2,6-diil]-alt -5,50-(2,20-bitiofeno)} (P(NDI2OD-T2)).

Ejemplos de derivados de C₆₀, C₇₀ incluyen PC₆₁BM (éster metílico del ácido Fenilo-C₆₁-butírico), PC₇₁BM (éster metílico del ácido Fenilo-C₇₁-butírico) e ICBA (indeno-C₆₀ bisaducto).

Preferiblemente, el primer material de electrodo comprende un semiconductor tipo n que es TiO₂, SnO₂, ZnO, Nb₂O₅, Ta₂O₅, In₂O₃, Ga₂O₃, Nd₂O₃, PbO, CdO, FeS₂, CdS, ZnS, SnS, BiS, SbS o Cu₂ZnSnS₄. Por ejemplo, el primer material de electrodo puede ser TiO₂, SnO₂, ZnO, Nb₂O₅, o Ta₂O₅. Preferiblemente, el semiconductor tipo n es TiO₂.

El primer material de electrodo puede comprender además un material de electrodo colector de electrones.

El primer material de electrodo comprende normalmente una capa de un semiconductor tipo n. A menudo, el primer electrodo comprende una capa compacta de un semiconductor tipo n. Por ejemplo, el primer electrodo puede comprender una capa compacta de un semiconductor tipo n que es un óxido metálico. La capa (compacta) tiene normalmente un espesor de 20 nm a 300 nm, por ejemplo, de 50 nm a 200 nm. Preferiblemente, el primer electrodo comprende una capa compacta de TiO₂. El primer material de electrodo puede, como alternativa o adicionalmente, comprender nanopartículas de un semiconductor tipo n. Las nanopartículas pueden tener un tamaño de partícula medio de 5 nm a 250 nm, preferiblemente de 5 nm a 50 nm. Las nanopartículas pueden comprender un óxido metálico, un sulfuro de metal, un seleniuro metálico o un oxisulfuro metálico, tal como TiO₂, SnO₂, ZnO, Nb₂O₅, Ta₂O₅, CdS, CdSe, ZnS, ZnSe, SnS, SnSe, PbS, PbSe, Bi₂S₃, Bi₂Se₃, ZnO_{1-x}S_x o SnO_{1-x}S_x. Por ejemplo, el primer material de electrodo puede comprender nanopartículas de TiO₂. El primer material de electrodo puede comprender nanopartículas de SnO₂.

Preferiblemente, el primer material de electrodo comprende: un óxido conductor transparente o un metal; y, dispuesta sobre el óxido conductor transparente o un metal, una capa de un semiconductor tipo n. Por ejemplo, uno o más primeros electrodos pueden comprender una o más capas de un óxido conductor transparente o un metal; y, dispuesta sobre la una o más capas de un óxido conductor transparente o un metal, una capa de un semiconductor tipo n.

El primer material de electrodo puede comprender una capa de titanio y una capa de un semiconductor tipo n que es TiO₂. El primer material de electrodo puede comprender una capa de aluminio y una capa de un semiconductor tipo n que es TiO₂.

El segundo material de electrodo comprende normalmente un óxido conductor transparente o un metal.

El segundo material de electrodo comprende normalmente un óxido conductor transparente seleccionado de: óxido de indio y estaño (ITO); óxido de estaño dopado con un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, galio, magnesio, cadmio, indio, estaño, escandio, itrio, cobalto, manganeso, cromo y boro; óxido de estaño dopado con flúor (FTO); u óxido de zinc dopado con un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, galio, magnesio, cadmio, indio, estaño,

escandio, itrio, cobalto, manganeso, cromo y boro o un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, oro, níquel o platino. El segundo material de electrodo puede comprender una capa de un metal que tiene un espesor de 50 nm a 300 nm, por ejemplo, de 80 nm a 200 nm.

- 5 Preferiblemente, el segundo material de electrodo comprende normalmente un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, oro, níquel o platino. Más preferiblemente, el segundo material de electrodo comprende normalmente un metal seleccionado de plata, oro o platino. El segundo electrodo puede comprender níquel.

- 10 El segundo electrodo es normalmente un electrodo selectivo de huecos (pero como alternativa puede ser un electrodo selectivo de electrones como se analiza a continuación). Por lo tanto, el segundo material de electrodo a menudo comprende además un semiconductor tipo p. Por ejemplo, el segundo material de electrodo puede comprender una parte mayoritaria de un óxido conductor metálico o transparente como parte conductora y una parte menor de un semiconductor tipo p como parte selectiva de huecos. Por ejemplo, el segundo material de electrodo puede comprender una capa de un óxido conductor metálico o transparente y, dispuesta sobre la misma, una capa de un semiconductor tipo p.

- 15 Por ejemplo, el segundo material de electrodo puede comprender además un semiconductor tipo p seleccionado de: calcogenuros, óxidos y oxisulfuros de níquel, tungsteno, molibdeno o cobre; semiconductores orgánicos tipo p, opcionalmente, en donde los semiconductores orgánicos tipo p se seleccionan de derivados de arilamina, derivados de tiofeno, etilendioxitiofeno, compuestos de espiro-bifluoreno, espiro-OMeTAD, espiro-TAD, politriarilaminas, politrifeniildiaminas y derivados de las mismas, TFB y PFB, opcionalmente, en donde el semiconductor orgánico está dopado con agentes oxidantes; y haluros metálicos y pseudohaluros metálicos, opcionalmente, en donde los haluros metálicos y pseudohaluros metálicos se seleccionan de tiocianato de cobre y yoduro de cobre. En algunos casos, el segundo material de electrodo puede comprender además un semiconductor tipo p que es óxido de níquel (NiO).

- 25 Los ejemplos de semiconductores tipo p incluyen espiro-OMeTAD (2,2',7,7'-tetrakis-(N,N-di-p-metoxifenilamina)9,9'-espirobifluoreno); P3HT (poli(3-hexiltiofeno)); PCPDTBT (poli[2,1,3-benzotiadiazol-4,7-diil[4,4-bis(2-etilhexil)-4H-ciclopenta[2,1-b:3,4-b']ditiofeno-2,6-diil]]); PVK (poli(N-vinilcarbazol)); HTM-TFSI (1-hexil-3-metilimidazolio bis(trifluorometilsulfonil)imida); Li-TFSI (bis(trifluorometanosulfonil)imida de litio); tBP (*tert*-butilpiridina); nanotubos de carbono; un polímero o copolímero que comprende uno o más de los siguientes restos: tiofenilo, fenelenilo, ditiazolilo, benzotiazolilo, dicetopirrololpirrolilo, etoxiditiofenilo, amino, trifenil amino, carbozolilo, etilendioxitiofenilo, dioxitiofenilo o fluorenilo; m-MTDATA (4,4',4"-tris(metilfenilfenilamino)trifenilamina); MeOTPD (N,N,N',N'-tetraquis(4-metoxifenil)-bencidina); BP2T (5,5'-di(bifenil-4-il)-2,2'-bitiofeno); Di-NPB (N,N'-Di-[(1-naftilo)-N,N'-difenil]-1,1'-bifenil)-4,4'-diamina), α -NPB (N,N'-di(naftalen-1-il)-N,N'-difenil-bencidina), TNATA (4,4',4"-tris-(N-(naftilen-2-il)-N-fenilamina)trifenilamina), BPAPF (9,9-bis[4-(N,N-bis-bifenil-4-il-amino)fenil]-9H-fluoreno), espiro-NPB (N2,N7-Di-1-naftalenil-N2,N7-difenil-9,9'-espirobi[9H-fluoreno]-2,7-diamina), 4P-TPD (4,4-bis-(N,N-difenilamino)-tetrafenilo), PEDOT:PSS; transportadores de huecos inorgánicos tales como un óxido de níquel, vanadio, cobre o molibdeno; CuI, CuBr, CuSCN, Cu₂O, CuO o CIS; una perovskita; Si amorfo; un semiconductor del grupo IV tipo p, un semiconductor del grupo III-V tipo p, un semiconductor del grupo II-VI tipo p, un semiconductor del grupo I-VII tipo p, un semiconductor del grupo IV-VI tipo p, un semiconductor del grupo V-VI tipo p y un semiconductor del grupo II-V tipo p, cuyo material inorgánico puede estar dopado o no dopado. El semiconductor tipo p puede comprender PEDOT (poli(3,4-etilendioxitiofeno)).

- 40 El semiconductor tipo p puede estar dopado, por ejemplo, con NOBF₄ (tetrafluoroborato de nitrosonio) o *tert*-butilpiridina y LiTFSI, por ejemplo, para aumentar la densidad de huecos.

- 45 Normalmente, el segundo material de electrodo comprende: un óxido conductor transparente o un metal; y dispuesta sobre el óxido conductor transparente o un metal, una capa de un semiconductor tipo p. En una disposición de este tipo, el TCO o metal actúa como un conductor para alejar la corriente del material fotoactivo mientras que la capa de un semiconductor tipo p actúa para recoger huecos y/o bloquear electrones.

- 50 Por tanto, el segundo material de electrodo puede comprender una capa de un metal y, dispuesta sobre la capa de un metal, una capa (o revestimiento) de un semiconductor tipo p. El segundo material de electrodo puede comprender una capa de oro y un revestimiento de un semiconductor orgánico tipo p tal como espiro-OMeTAD revestido sobre la capa de oro.

- 55 En algunos casos, el segundo electrodo puede comprender una capa de un metal (por ejemplo, como componente principal) y una capa del óxido de ese metal (por ejemplo, del componente secundario). En tal caso, la capa del metal puede funcionar como la parte eléctricamente conductora principal del segundo electrodo y el óxido metálico puede funcionar como la parte selectiva del electrodo, por ejemplo, una capa de conducción de huecos de la capa de conducción de electrones. Por ejemplo, el segundo electrodo puede comprender una capa de níquel y una capa de óxido de níquel. Como alternativa, normalmente en un dispositivo invertido, el segundo electrodo puede comprender una capa de titanio y una capa de dióxido de titanio.

- 60 Si el segundo material de electrodo comprende una capa de un metal y una capa de un semiconductor tipo n o tipo p, la capa del semiconductor tipo n o tipo p está normalmente en contacto con el material fotoactivo. La capa del semiconductor tipo n o tipo p puede formar la totalidad de la capa externa del segundo electrodo, es decir, la capa del

metal puede estar completamente recubierta con la capa del semiconductor tipo n o tipo p. Como alternativa, la capa del semiconductor tipo n o tipo p puede disponerse en una única superficie de la capa del metal.

Por ejemplo, si una sección de la capa del metal tiene una sección transversal sustancialmente rectangular con una superficie (inferior) del metal en contacto con la capa del material aislante, la capa del semiconductor tipo n o tipo p puede estar (i) dispuesta sobre las otras tres superficies del metal y, de este modo, revestir toda la superficie de la capa del metal (como puede ocurrir si la capa del semiconductor tipo n o el semiconductor tipo p se produce oxidando la capa del metal como se describe a continuación) o (ii) dispuesta solo en la superficie (superior) del metal opuesta a la superficie en contacto con la capa del material aislante y dejando así las dos superficies restantes de la capa del metal sin revestir con la capa del semiconductor tipo n o tipo p (como puede ocurrir si la capa del semiconductor tipo n o tipo p se deposita en una etapa posterior a la deposición de la capa del metal y antes de la retirada de la capa de resistencia como se describe a continuación).

En el caso de que la capa del semiconductor tipo n o tipo p solo cubra parcialmente la capa del metal, las áreas expuestas restantes de la capa de metal pueden revestirse adicionalmente con una capa de bloqueo, por ejemplo, un compuesto adecuado para formar una monocapa autoensamblada como se describe a continuación.

En el primer y/o segundo electrodos, la capa del semiconductor tipo n o tipo p es normalmente de 3 a 100 nm, por ejemplo, de 5 a 30 nm.

Normalmente, el primer material de electrodo es el electrodo colector de electrones y el segundo material de electrodo es el electrodo colector de huecos, como se ha descrito anteriormente. Sin embargo, en algunas realizaciones, el primer material de electrodo es el electrodo colector de huecos y el segundo material de electrodo es el electrodo colector de electrones. En ese caso, el primer material de electrodo puede ser como se ha descrito anteriormente para el segundo material de electrodo, y el segundo material de electrodo puede ser como se ha descrito anteriormente para el primer material de electrodo. Por tanto, el primer material de electrodo puede comprender un metal tal como oro o platino y un semiconductor tipo p, y el segundo material de electrodo puede comprender un metal o TCO y un semiconductor tipo n tal como dióxido de titanio.

El material aislante está dispuesto entre las capas del primer y segundo materiales de electrodo. Por lo tanto, el material aislante evita que el primer electrodo entre en contacto con el segundo electrodo, que de lo contrario crearía un cortocircuito.

El material aislante comprende normalmente un polímero o un material inorgánico dieléctrico. El material aislante tiene normalmente una resistividad mayor o igual a 10^4 S2m. El material inorgánico dieléctrico tiene normalmente una banda prohibida mayor o igual a 3,5 eV o mayor o igual a 4,0 eV. El material aislante puede ser un material inorgánico dieléctrico seleccionado de un óxido de uno o más de aluminio, circonio, silicio, itrio e iterbio o un polímero seleccionado de polialquenos (por ejemplo, poliestireno o polietileno) y poliacrilatos (por ejemplo, polimetilmetacrilato).

Preferiblemente, el material aislante comprende un óxido de uno o más de aluminio, circonio, silicio, itrio e iterbio. Más preferiblemente, el material aislante comprende un óxido de uno o más de aluminio y silicio, por ejemplo, Al_2O_3 .

La capa de un material aislante tiene normalmente un espesor de 20 nm a 1000 nm, por ejemplo, de 50 nm a 500 nm o de 100 nm a 300 nm.

Una ventaja del uso de una arquitectura de electrodo posterior es que un lado del material fotoactivo está completamente expuesto a la luz incidente. Se puede aplicar un revestimiento a este lado para reducir el reflejo de la luz y mejorar la absorción. Por tanto, el dispositivo optoelectrónico puede comprender además un revestimiento antirreflectante dispuesto sobre el material fotoactivo. El revestimiento antirreflectante puede comprender una superficie rugosa o texturizada. El revestimiento antirreflectante puede comprender un material que tiene un índice de refracción diferente al del material cristalino.

El dispositivo optoelectrónico puede comprender además una capa de pasivación dispuesta sobre la capa del material fotoactivo. La capa de pasivación comprende normalmente un agente de pasivación que es un compuesto orgánico. El agente de pasivación es normalmente un óxido de trialquilfosfina, por ejemplo, óxido de trioctilfosfina. El agente de pasivación puede ser un compuesto orgánico como se describe en el documento WO 2015/092397, por ejemplo, yodopentafluorobenceno o tiofeno. Normalmente, si están presentes, el espesor de la capa de pasivación es de 0,5 nm a 10 nm.

El dispositivo optoelectrónico puede comprender además una capa hidrófoba dispuesta sobre la capa del material fotoactivo. La capa hidrófoba comprende normalmente un compuesto hidrófobo o un polímero hidrófobo. El compuesto hidrófobo o polímero hidrófobo es normalmente un compuesto no polar o un polímero no polar. Los ejemplos de compuestos hidrófobos incluyen compuestos de hidrocarburo, compuestos orgánicos y sílice. Los ejemplos de polímeros hidrófobos incluyen polialquenos, poliacrilatos, poliésteres y policarbonatos. El dispositivo optoelectrónico comprende normalmente adicionalmente una capa de un material base, y en donde la capa del primer material de electrodo está dispuesta sobre la capa del material base. Esta capa de un material base puede proporcionar resistencia

mecánica al dispositivo optoelectrónico. El material base comprende normalmente vidrio, plástico, metal y/o silicio. A menudo, la capa del material base es una capa de vidrio o una capa de plástico. La capa del material base puede ser un material flexible, por ejemplo, una capa flexible de plástico o un metal seleccionado de acero, cobre, tungsteno y molibdeno. La capa de un material base tiene normalmente un espesor de 1,0 μm a 2,0 cm. El sustrato puede ser, por ejemplo, una lámina metálica rígida.

El dispositivo optoelectrónico es un dispositivo de contacto posterior. Por lo tanto, el dispositivo optoelectrónico comprende una capa del material fotoactivo que tiene un primer lado y un segundo lado, y en donde el primer lado de la capa del material fotoactivo está en contacto con el sustrato. Por tanto, el dispositivo optoelectrónico es normalmente un dispositivo optoelectrónico de contacto posterior y la luz se absorbe o emite a través del segundo lado de la capa del material fotoactivo. Normalmente, el segundo lado está en el lado opuesto del dispositivo al primer lado.

La estructura del sustrato y los electrodos es tal que el primer y segundo electrodos están en el mismo lado del sustrato. Por tanto, el sustrato tiene un primer lado en el que están dispuestos el uno o más primer y segundo electrodos, y en donde el material fotoactivo está dispuesto en el primer lado del sustrato.

La capa del primer material de electrodo tiene normalmente un espesor de 10 nm a 1000 nm. Por ejemplo, el primer material de electrodo puede tener un espesor de 10 nm a 300 nm. A menudo, el primer material de electrodo tiene un espesor de 50 nm a 200 nm.

El dispositivo optoelectrónico comprende normalmente una segunda capa dispuesta sobre la capa del primer material de electrodo, cuya segunda capa comprende la capa del material aislante y el material fotoactivo. El dispositivo optoelectrónico comprende normalmente una tercera capa dispuesta sobre la segunda capa, cuya tercera capa comprende el segundo material de electrodo y el material fotoactivo. El dispositivo optoelectrónico comprende normalmente una cuarta capa dispuesta en la tercera capa, cuya cuarta capa comprende el material fotoactivo. Por tanto, cuando se ve desde el lado, el dispositivo optoelectrónico puede comprender cuatro capas: una capa que comprende el primer material de electrodo; una segunda capa que comprende regiones del material aislante y, dispuestas entre esas regiones y en contacto con el primer material de electrodo, regiones del material fotoactivo; una tercera capa que comprende regiones del segundo material de electrodo y, dispuestas entre las regiones del segundo material de electrodo, regiones del material fotoactivo; y una cuarta capa que comprende solo el material fotoactivo (es decir, la región absorbente/emisora de volumen del dispositivo optoelectrónico. Esto se muestra esquemáticamente en la Figura 10 para una realización de la invención con las capas etiquetadas como I, II, III y IV respectivamente. La cuarta capa a menudo no tiene porosidad abierta.

La segunda capa tiene normalmente un espesor de 50 nm a 2000 nm, por ejemplo, de 100 nm a 400 nm. La tercera capa tiene normalmente un espesor de 50 nm a 1000 nm, por ejemplo, de 100 nm a 500 nm. La cuarta capa tiene normalmente un espesor de 5 nm a 5000 nm, por ejemplo, de 500 nm a 4000 nm o de 1000 nm a 3000 nm.

La capa del material aislante es normalmente una capa estampada del material aislante. Por tanto, dispuesta sobre la capa de un primer material de electrodo, puede haber una capa estampada del material aislante, por ejemplo, una capa estampada que comprende una pluralidad de tiras del material aislante. "Estampado/a" en este contexto puede significar dispuesto/a en una forma predeterminada. La capa estampada del material aislante puede formar una o más regiones en forma de peine del material aislante. El segundo material de electrodo se dispone normalmente sobre la capa estampada del material aislante y forma al menos parte del al menos un segundo electrodo, cuyo segundo electrodo está estampado. Por tanto, el segundo electrodo puede ser un electrodo estampado mientras que el primer electrodo es normalmente una capa del primer material de electrodo que no está estampado.

La capa del material aislante comprende normalmente dos o más regiones lineales del material aislante. Una región lineal de una capa de material es una región de material que es alargada y, por ejemplo, puede tomar la forma de una región sustancialmente rectangular, una tira o un alambre. Por tanto, la capa del material aislante comprende normalmente (o se forma en parte a partir de) dos o más tiras del material aislante.

El sustrato comprende normalmente dos o más regiones lineales del material aislante dispuestas sobre la capa del primer material de electrodo, y, dispuesta en cada región lineal del material aislante, una región lineal del segundo material de electrodo. Por tanto, el sustrato puede comprender dos o más tiras del material aislante con una tira adicional del segundo material de electrodo dispuesta en cada tira del material aislante. El esquema de la Figura 8 muestra una realización en donde el sustrato comprende dos regiones lineales (por ejemplo, tiras) del segundo material de electrodo (A) dispuestas en dos regiones lineales (por ejemplo, tiras) del material aislante (B), todo lo que se dispone sobre la capa del primer material de electrodo. Normalmente, una o más de las regiones lineales del material aislante y/o las regiones lineales del segundo material de electrodo tienen un ancho de 100 nm a 50 μm y una longitud de 10 μm a 1,0 m. Por tanto, las regiones lineales del material aislante (segundo material de electrodo) pueden ser tiras del material aislante (segundo material de electrodo) que tienen un ancho de 100 nm a 50 μm y una longitud de 10 μm a 1,0 m (es decir, 1000 mm). El ancho de las regiones lineales es preferiblemente de 300 nm a 5 μm , por ejemplo, de 1,0 μm a 5 μm . El ancho de las regiones lineales en la realización de la Figura 9 se muestra por w_1 . La longitud de la una o más regiones lineales es preferiblemente de 1,0 mm a 500 mm.

El sustrato comprende dos o más regiones lineales expuestas del primer material de electrodo. Una "región expuesta del primer material de electrodo" es una región del primer material de electrodo que no está (sustancialmente) cubierta por la capa del material aislante. Por lo tanto, una región expuesta del primer material de electrodo es normalmente una región del primer material de electrodo que está en contacto con el material fotoactivo. Las regiones lineales expuestas pueden ser tiras expuestas del primer material de electrodo. La una o más de las regiones lineales expuestas del primer material de electrodo tiene normalmente un ancho de 10 nm a 50 μm y una longitud de 10 μm a 1,0 m. El ancho de las regiones lineales expuestas es preferiblemente de 100 nm a 4,0 μm , por ejemplo, de 0,2 μm a 5,0 μm . El ancho de las regiones lineales expuestas en la realización de la Figura 9 se muestra por w_2 . La longitud de la una o más regiones lineales expuestas es preferiblemente de 1,0 mm a 500 mm.

En algunas realizaciones, el sustrato comprende tres o más regiones lineales del segundo material de electrodo que son sustancialmente paralelas y en donde la separación entre dos regiones lineales adyacentes del segundo material de electrodo es de 100 nm a 50 μm , preferiblemente en donde la separación entre dos regiones lineales adyacentes del segundo material de electrodo es de 200 nm a 2,0 μm . Las regiones lineales sustancialmente paralelas pueden tener, por ejemplo, bordes que están en un ángulo de +5,0° a -5,0° entre sí.

En algunas realizaciones, el sustrato comprende tres o más regiones lineales del segundo material de electrodo que son sustancialmente paralelas y en donde la separación entre dos regiones lineales adyacentes del segundo material de electrodo es de 50 μm a 1,0 mm.

El sustrato puede comprender, por ejemplo, una pluralidad de regiones lineales del segundo material de electrodo conectadas a una región adicional del segundo material de electrodo para formar al menos parte del al menos un segundo electrodo. Una estructura de este tipo puede denominarse estructura en forma de peine. Por ejemplo, el al menos un segundo electrodo puede comprender una estructura en forma de peine del segundo material de electrodo dispuesto sobre una estructura en forma de peine del material aislante.

Como alternativa, la capa estampada del material aislante puede comprender una pluralidad de regiones que no comprenden el material aislante. La pluralidad de regiones puede ser una pluralidad de regiones sustancialmente circulares. Esto se muestra esquemáticamente en la Figura 9 y en la Figura 27. La pluralidad de regiones sustancialmente circulares puede disponerse en forma hexagonal, por ejemplo, un patrón de panal. Por ejemplo, la capa estampada del material aislante puede comprender una pluralidad de huecos. El segundo material de electrodo se dispone normalmente sobre la capa estampada del material aislante y forma al menos parte del al menos un segundo electrodo, cuyo segundo electrodo está estampado. Por tanto, el segundo electrodo puede comprender una pluralidad de huecos a través de los que el primer electrodo se expone al material fotoactivo. La capa del segundo material de electrodo y la capa del material aislante pueden obtenerse a partir de un proceso que comprende una etapa de (i) disponer una pluralidad de partículas sustancialmente esféricas sobre la capa del primer material de electrodo y (ii) realizar una etapa de litografía para definir un segundo patrón de electrodo en la capa del primer material de electrodo. Este proceso puede describirse adicionalmente a continuación.

El material aislante separa el primer y segundo electrodos. El material fotoactivo está normalmente en contacto con el material aislante. El primer electrodo normalmente no está en contacto con el segundo electrodo. Por tanto, el primer electrodo no suele estar en contacto eléctrico con el segundo electrodo.

El dispositivo optoelectrónico puede ser un dispositivo fotovoltaico, fotodiodo, célula solar, fototransistor, fotomultiplicador, fotodetector, fotorresistencia, dispositivo emisor de luz, diodo emisor de luz, láser o láser de inyección de carga. El dispositivo optoelectrónico es normalmente un dispositivo emisor de luz o un dispositivo fotovoltaico. Preferiblemente, el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo fotovoltaico.

El dispositivo optoelectrónico puede ser un dispositivo optoelectrónico en tandem y comprender, además, dispuestos sobre el material fotoactivo, una región en tandem que comprende un primer electrodo en tandem, un segundo electrodo en tandem y una capa de un material fotoactivo en tandem.

Sustrato

Relacionado con la invención, pero que no forma parte de la invención reivindicada, hay un sustrato que comprende al menos un primer electrodo, cuyo al menos un primer electrodo comprende un primer material de electrodo, y al menos un segundo electrodo, cuyo al menos un segundo electrodo comprende un segundo material de electrodo; en donde el sustrato comprende:

- una capa del primer material de electrodo; y,
- dispuesta sobre la capa del primer material de electrodo, una capa de un material aislante, cuya capa de un material aislante cubre parcialmente la capa del primer material de electrodo; y,
- dispuesto sobre la capa del material aislante, el segundo material de electrodo;

y en donde el primer material de electrodo comprende un óxido conductor transparente y/o un óxido de titanio, estaño, zinc, niobio, tantalio, indio, galio, neodimio, paladio o cadmio y el segundo material de electrodo comprende un metal.

El sustrato puede ser como se ha definido adicionalmente anteriormente para el dispositivo optoelectrónico de la invención.

5 *Proceso*

El proceso de la invención para producir un dispositivo optoelectrónico comprende un proceso para producir un sustrato que comprende un primer electrodo y un segundo electrodo, cuyo proceso comprende:

- 10 (i) proporcionar una capa de un primer material de electrodo dispuesto sobre una capa de un material base;
- (ii) disponer sobre la capa del primer material de electrodo una capa de una resistencia;
- (iii) realizar una etapa de litografía para definir un segundo patrón de electrodo en la capa del primer material de electrodo;
- (iv) disponer, en la capa de resistencia, una capa de un material aislante;
- 15 (v) disponer, sobre la capa del material aislante, una capa de un segundo material de electrodo; y
- (vi) eliminar la resistencia y el material aislante y el segundo material de electrodo dispuesto sobre la resistencia.

Producir la capa de un primer material de electrodo dispuesto sobre una capa de un material base comprende normalmente: proporcionar una capa de un material base con una capa de un metal o un óxido conductor transparente
20 dispuesto sobre la misma; y disponer sobre la capa del metal o del óxido conductor transparente una capa de un semiconductor tipo n o tipo p. Disponer la capa de un semiconductor tipo n o tipo p sobre la capa del metal o del óxido conductor transparente comprende normalmente disponer sobre la capa del metal o del óxido conductor transparente una composición que comprende el semiconductor tipo n o tipo p o un compuesto precursor para el semiconductor tipo n o tipo p. La composición comprende normalmente además un disolvente. Por ejemplo, una composición que
25 comprende isopropóxido de titanio y etanol puede revestirse por rotación sobre la capa del metal o el óxido conductor transparente y posteriormente calentarse para formar una capa de dióxido de titanio. Como alternativa, una composición que comprende bis(acetilacetato) de diisopropóxido de titanio y etanol puede revestirse por pulverización sobre la capa del metal o el óxido conductor transparente y posteriormente calentarse para formar una capa de dióxido de titanio. Se puede producir una capa del dióxido de estaño semiconductor tipo n disponiendo sobre
30 la capa del metal o del óxido conductor transparente una composición que comprende un disolvente y una pluralidad de nanopartículas que comprenden dióxido de estaño y eliminando posteriormente el disolvente.

La etapa de litografía comprende normalmente una etapa de litografía por haz de electrones, una etapa de litografía óptica o una etapa de impresión por nanocontacto. La etapa de litografía puede comprender exponer la capa de la
35 resistencia a un haz de electrones o luz para definir un segundo patrón de electrodo en la resistencia. El patrón definido en la resistencia es normalmente un patrón definido por la eliminación del protector mediante la etapa de litografía. La etapa de litografía puede comprender litografía láser de interferencia o litografía coloidal.

La resistencia comprende normalmente un polímero, por ejemplo, polimetilmetacrilato (PMMA). La resistencia puede ser una resistencia bicapa. Por ejemplo, la capa de resistencia puede ser una bicapa de resistencia que comprende una capa de un primer PMMA y una capa de un segundo PMMA. La resistencia puede comprender, como alternativa, una pluralidad de partículas sustancialmente esféricas. Por ejemplo, la resistencia puede comprender una pluralidad de partículas sustancialmente esféricas que comprenden un polímero tal como poliestireno, polietileno o PMMA. La pluralidad de partículas sustancialmente esféricas puede tener un tamaño medio de partícula (por ejemplo, Dv50) de
45 100 nm a 3000 nm, por ejemplo, de 500 a 1500 nm.

La resistencia se elimina normalmente exponiendo la resistencia a un disolvente. El disolvente puede ser cualquier disolvente adecuado. Por ejemplo, el disolvente puede comprender una cetona y/o un alcohol. Preferiblemente, el disolvente comprende una mezcla de isopropanol (IPA) y metil-isobutilcetona (MIBK). La eliminación de la resistencia eliminará normalmente cualquier capa adicional dispuesta sobre la resistencia y dejará regiones expuestas del primer material de electrodo.

El proceso puede comprender, además, entre las etapas (iv) y (v), una etapa de disponer una capa de un material de adhesión sobre la capa del material aislante. El material de adhesión puede comprender, por ejemplo, cromo. El
55 material de adhesión puede ayudar a la adhesión entre la capa del material aislante y la capa del segundo material de electrodo.

El sustrato, la capa del material base, la capa de un primer material de electrodo, la capa de un material aislante y/o el segundo material de electrodo pueden ser como se define adicionalmente para el dispositivo optoelectrónico de la invención. Por tanto, la capa del primer material de electrodo puede comprender una capa de óxido conductor transparente y un semiconductor tipo n.

Un proceso de acuerdo con la invención puede comprender: (i) proporcionar un material base con una capa de un electrodo conductor transparente (TCO) dispuesto sobre el mismo; (ii) disponer una capa compacta de un semiconductor tipo n (por ejemplo, dióxido de titanio) sobre la capa del TCO formando así una capa de un primer material de electrodo dispuesto sobre una capa de un material base; (iii) disponer una capa de una resistencia sobre
65

la capa del primer material de electrodo; (iv) realizar una etapa de litografía para definir un segundo patrón de electrodo en la capa del primer material de electrodo; (v) disponer, en la capa de resistencia, una capa de un material aislante (por ejemplo, Al_2O_3); (vi) disponer, sobre la capa del material aislante, una capa de un segundo material de electrodo (por ejemplo, oro); y (vii) eliminar la resistencia aplicando un disolvente al sustrato.

5 La etapa (v) puede comprender: (v-a) disponer, sobre la capa del material aislante, una capa de un metal, por ejemplo, níquel; o (v-b) disponer, sobre la capa del material aislante, una capa de un metal, por ejemplo, oro, y disponer, sobre la capa del metal, una capa de un semiconductor tipo p, por ejemplo, óxido de níquel.

10 Si el proceso comprende la etapa (v-a), el proceso comprende normalmente además una etapa (vii-a) en donde el sustrato se recuece para formar una capa de óxido metálico sobre la capa del metal. La etapa (vii-a) se produce normalmente después de la etapa (vi), eliminación de la resistencia. El recocido del sustrato puede comprender calentar el sustrato a una temperatura de 200 °C a 500 °C durante un tiempo de 10 minutos a 100 minutos. Por ejemplo, el proceso de la invención puede comprender: (v) disponer, sobre la capa del material aislante, una capa de níquel o titanio; (vi) eliminar la resistencia y el material dispuesto sobre la resistencia para dejar una capa estampada de níquel o titanio; y (vii) recocer el sustrato para formar una capa de óxido de níquel sobre la capa de níquel o para formar una capa de dióxido de titanio sobre la capa de titanio.

20 Si el proceso comprende la etapa (v-b), el proceso comprende normalmente además una etapa (vii-b) en donde el sustrato se trata con un compuesto adecuado para formar una monocapa autoensamblada sobre las superficies expuestas de la capa del metal. La etapa (vii-b) se produce normalmente después de la etapa (vi), eliminación de la resistencia. El compuesto adecuado para formar una monocapa autoensamblada comprende normalmente un grupo tiol o un grupo tiofeno. Por ejemplo, el compuesto adecuado para formar una monocapa autoensamblada puede ser un alcano-1-tiol, por ejemplo, un C_{6-14} -alcano-1-tiol tal como dodecano-1-tiol. El compuesto adecuado para formar una monocapa autoensamblada puede actuar como una capa de bloqueo.

25 Relacionado con la invención, pero que no forma parte de la invención reivindicada, hay un sustrato que se puede obtener mediante un proceso para producir un sustrato que comprende un primer electrodo y un segundo electrodo como se define.

30 La invención proporciona un proceso para producir un dispositivo optoelectrónico que comprende un sustrato que comprende un primer electrodo y un segundo electrodo, cuyo proceso comprende una etapa de producir el sustrato mediante un proceso como se define en el presente documento. El proceso comprende además disponer una capa de un material fotoactivo sobre el sustrato.

35 Antes de disponer una capa de un material fotoactivo sobre el sustrato, el sustrato puede tratarse con un líquido iónico. Por ejemplo, el sustrato puede tratarse con tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio. El tratamiento del sustrato con un líquido iónico puede comprender disponer una composición que comprende un disolvente y el líquido iónico sobre el sustrato y secar el sustrato. La composición puede comprender, por ejemplo, un alcohol (por ejemplo, metanol o etanol) y el líquido iónico a una concentración de 0,001 a 1,0 % en peso.

40 Después de disponer la capa del material fotoactivo sobre el sustrato, se puede disponer una capa de pasivación en la capa del material fotoactivo. La capa de pasivación comprende normalmente un agente de pasivación que es un compuesto orgánico. El agente de pasivación es normalmente un óxido de trialkilfosfina, por ejemplo, óxido de trioctilfosfina. El agente de pasivación puede ser un compuesto orgánico como se describe en el documento WO 2015/092397, cuya totalidad se incorpora en el presente documento como referencia, por ejemplo, yodopentafluorobenceno o tiofeno. La disposición del agente de pasivación sobre la capa del material fotoactivo comprende normalmente la disposición de una composición que comprende un disolvente (por ejemplo, clorobenceno) y el agente de pasivación (por ejemplo, óxido de trioctilfosfina).

50 Relacionado con la invención, pero que no forma parte de la invención reivindicada, hay un dispositivo optoelectrónico que se puede obtener mediante un proceso para producir un dispositivo optoelectrónico como se define en el presente documento.

55 *Módulo*

La invención proporciona también un módulo que comprende dos o más de los dispositivos optoelectrónicos de acuerdo con la invención. El módulo puede comprender alternativamente dos o más de los sustratos de acuerdo con la invención.

60 En el módulo de acuerdo con la invención, cada dispositivo o sustrato puede estar interconectado. Normalmente, los dispositivos o sustratos están interconectados de tal manera que el primer electrodo de un dispositivo o sustrato está conectado eléctricamente con el segundo electrodo de un dispositivo o sustrato adyacente. En la Figura 11 se muestra una vista lateral esquemática de un módulo de acuerdo con la invención. Un módulo de acuerdo con la invención puede comprender de 2 a 1000 dispositivos o sustratos de acuerdo con la invención, por ejemplo, de 4 a 100 dispositivos o sustratos de acuerdo con la invención. En un módulo de la invención, el área de cada dispositivo o

sustrato como se define por el área del segundo electrodo de ese dispositivo o módulo cuando se ve en planta puede ser de 0,1 cm² a 100 cm², por ejemplo, de 0,5 cm² a 10 cm². La distancia entre dos dispositivos o sustratos adyacentes de acuerdo con la invención puede ser menor o igual a 1,0 mm, por ejemplo, menor o igual a 100 µm.

5 Ejemplos

Ejemplo 1 - preparación de una célula fotovoltaica de contacto posterior

Se prepararon células fotovoltaicas de contacto posterior que contenían triyoduro de plomo y metilamonio mediante el siguiente método.

Preparación del sustrato:

En síntesis, los sustratos de vidrio revestidos de óxido de estaño dopado con flúor (FTO) se limpiaron secuencialmente en Hellmanex, acetona, isopropanol y plasma de oxígeno. Una capa compacta de TiO₂ (50 nm) se depositó mediante revestimiento por rotación (2000 rpm, 2000 rpm·s⁻¹ en rampa) una solución de isopropóxido de titanio en etanol (que contiene 35 ml de HCL 2 M por 5 ml de solución) y sinterizada a 500 °C durante 30 min. La FTO y el TiO₂ forman juntos el primer material de electrodo. El vidrio corresponde al material base.

Patrones:

La litografía por haz de electrones se llevó a cabo utilizando una resistencia de PMMA bicapa. Una capa inicial de A8 PMMA 495K se revistió por rotación sobre el sustrato de vidrio-FTO-TiO₂ a 1000 rpm durante 60 segundos y se horneó en una placa caliente a 180 °C durante 90 segundos. Se centrifugó una segunda capa de A8 PMMA 950K a 4000 rpm durante 60 segundos y se horneó a 180 °C durante 90 segundos. El patrón de electrodo superior se expuso en un sistema de litografía de haz de electrones JEOL 5500FS. Los patrones expuestos se revelaron a continuación en MIBK:IPA (metilisobutilcetona:isopropanol) (1:3) durante 90 segundos para lograr un perfil socavado en la resistencia bicapa para ayudar al despegue. Estas etapas podrían realizarse también mediante el método de impresión de nanocontacto más simple con un sello apropiado. Después del revelado, una capa de Al₂O₃ de 200 nm de espesor se depositó por evaporación por haz de electrones, seguido de una capa de adhesión fina (pocos nm) de Cr y 100 nm de Au. Las muestras se dejaron en acetona para despegar la resistencia restante dejando el patrón de electrodos superior.

Deposición de perovskita

La perovskita CH₃NH₃PbI₃ se depositó mediante un revestimiento por rotación de una sola etapa (2000 rpm) de precursores de acetato de plomo y yoduro de metilamonio en una relación molar de 1:3 con un contenido de plomo del 40 % en peso. La película se recoció a 100 °C durante 10 minutos en una caja de guantes de nitrógeno, se enfrió a temperatura ambiente y, a continuación, se encapsuló mediante revestimiento por rotación con una solución de 40 mg/ml de polimetilmetacrilato en tolueno (a 200 rpm).

Caracterización del dispositivo

Para medir los parámetros de rendimiento del dispositivo, La luz solar AM 1.5 simulada solar se generó con un simulador solar ABET calibrado para dar 100 mW·cm⁻² usando una celda de referencia de silicio filtrada KG5 calibrada por NREL, y las curvas JV se registraron con un medidor de fuente (Keithley 2400, EE.UU.).

Resultados y análisis

El proceso de la invención para producir la arquitectura de dispositivo novedosa se muestra esquemáticamente en la Figura 2. En las Figuras 4 y 8 se muestran posibles esquemas de estructuras de electrodos. En el presente ejemplo, el sustrato es una pieza de vidrio revestido con un óxido conductor transparente (TCO). Este se reviste uniformemente con un material selectivo de electrones (es decir, el semiconductor tipo n TiO₂) para formar un electrodo colector de electrones (ECE). A continuación, se recubre un protector estampado sobre este contacto selectivo de electrones mediante nanolitografía o impresión de nanocontacto (Figura 2 (a)). A esto le sigue la deposición de primero un aislante tal como Al₂O₃, y después un electrodo colector de metal o huecos (HCE) tal como oro (Figura 2 (b)). Se retira la resistencia, dejando atrás solo el diseño de electrodo estampado (Figura 2 (c)). El electrodo resultante de muchos individuos finos, todos conectados para formar un electrodo grande, se muestra a mayor escala en la imagen del microscopio en la Figura 3. Las características cruciformes más gruesas son tiras más gruesas del electrodo de HCE para evitar pérdidas en el caso de pequeñas roturas a lo largo de los electrodos finos. De esta forma, es posible evitar el contacto entre el ECE y el HCE colector de huecos, aunque ambos estén colocados en el mismo sustrato inferior. El semiconductor de perovskita procesado en solución puede depositarse entonces uniformemente sobre la parte superior del sustrato.

En el esquema de la Figura 4, el ECE y el HCE están aislados electrónicamente entre sí por la barrera de Al₂O₃. Todo esto es posible a través de una sola etapa litográfica. El ECE y el HCE se pueden revestir también con monocapas autoensamblables (e-SAM y h-SAM, respectivamente) para hacer que el ECE y el HCE sean más selectivos de

electrones y huecos, respectivamente. También se puede depositar una capa antirreflectante sobre el semiconductor para mejorar la captación de luz de la célula solar final. Los muchos HCE paralelos están conectados al final del electrodo, para que funcionen como un electrodo, como se demuestra en la imagen del microscopio en la Figura 3. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 4, donde se muestra la arquitectura total de electrodos. Las dos primeras

- 5 capas podrían prepararse también fácil y económicamente, por ejemplo, sinterizando una pieza de lámina de titanio en una atmósfera de oxígeno para producir una lámina de titanio conductora revestida con una capa compacta de TiO_2 selectiva de electrones. Sin embargo, esta última opción no sería adecuada para aplicaciones de células solares donde la célula solar necesita ser semitransparente, tal como es el caso de las aplicaciones de ventana.
- 10 En el dispositivo de prueba de principio demostrado en este punto, se usó vidrio como el sustrato, se usó FTO con una capa de 50 nm de espesor de TiO_2 compacto como el ECE, se usó Al_2O_3 como el material aislante, se usó oro como el HCE, y $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ (hecho de yoduro de metilamonio y precursores de acetato de plomo) como el semiconductor. El polímero inerte polimetilmetacrilato (PMMA) se usó para proteger la capa de perovskita del contacto con el aire. La imagen de microscopio electrónico de barrido en la Figura 5 muestra una sección transversal de uno

15 de los dispositivos preparados en este ejemplo.

Las curvas de corriente-densidad-tensión (JV) para las células solares producidas se muestran en la Figura 6. En este punto, el espacio entre los electrodos de tiras de oro fue de 1, 5, 10 o 20 μm .

- 20 En este estudio preliminar, es evidente que el rendimiento de los dispositivos no fue tan alto y que aumenta con la disminución de la separación de electrodos. Se supone que esto es por dos razones. Primero, la longitud de difusión de las cargas en el material debe ser de aproximadamente 2 μm , como se demuestra por mediciones anteriores. Sin embargo, dado que los electrones deben ser recogidos rápidamente por la capa de ECE y solo quedan huecos en la perovskita, la vida útil del hueco debería aumentar drásticamente para aumentar también la longitud de difusión
- 25 efectiva del hueco. Es más probable que los electrodos simples usados en esta prueba inicial simplemente no fueran lo suficientemente selectivos. Como resultado, la extracción deficiente de electrones y las altas tasas de recombinación en el electrodo de oro limitarán estos dispositivos. Es probable que el uso de SAM selectivos como C_{60} y piridinas o tioles en los contactos selectivos de electrones y huecos respectivamente, mejorará drásticamente el rendimiento incluso para las arquitecturas con una separación lateral más larga. Cuanto más larga sea la separación lateral, por
- 30 supuesto, se requerirá menos metal, más transparente será el electrodo inferior y más barato será preparar el dispositivo.

No obstante, es evidente que los dispositivos funcionan como dispositivos fotovoltaicos. Las curvas J-V oscuras demuestran un comportamiento rectificador, mientras que las fotocorrientes de hasta 1 mA cm^{-2} y se obtienen tensiones de circuito abierto de aproximadamente 0,3 V. Esta es una prueba de que esta arquitectura es capaz de funcionar como una célula solar. Los rendimientos pueden mejorarse con respecto a los de la estructura de dispositivo vertical convencional una vez que se mejora la selectividad de los contactos.

40 **Ejemplo 2 - preparación de una célula fotovoltaica de contacto posterior**

Las células fotovoltaicas de contacto posterior que comprenden yoduro de cloruro de plomo y metilamonio se produjeron mediante los métodos descritos a continuación. El sustrato se produjo usando diferentes materiales de electrodo y usando diferentes tratamientos superficiales.

45 **Limpieza de sustrato:**

Los sustratos de vidrio revestidos con FTO con una resistencia de lámina de 15 ohmios/cuadrado se grabaron con polvo de zinc y HCl 2M para crear tiras de borde no conductoras. Los sustratos grabados se enjuagaron en agua desionizada y se limpiaron rigurosamente cepillando la solución Hellmanex con un cepillo de dientes antes de enjuagar

50 nuevamente en una corriente de agua DI. Se usó nitrógeno para secar los sustratos que después se enjuagaron posteriormente en acetona y 2-propanol y se grabaron después durante 10 min en plasma de oxígeno.

Deposición de capa tipo n inferior:

55 *TiO_2 revestido por rotación:*

La capa compacta de TiO_2 tipo n se formó revistiendo por rotación una solución de 0,71 g de isopropóxido de titanio y 0,07 g de HCl 2M en 8 ml de etanol con 2000 rpm durante 45 segundos sobre el sustrato y recociéndola después a 500 °C durante 45 minutos.

60 *SnO_2 revestido por rotación:*

Las nanopartículas de SnO_2 se sintetizaron mediante un método hidrotermal. 467 mg de $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (98 % Sigma-Aldrich) se disolvieron en 20 ml de agua desionizada (DI). Después de 10 minutos de agitación a temperatura ambiente, se obtuvo una solución transparente completamente disuelta. Esta solución se transfirió a continuación a un autoclave de acero inoxidable revestido de teflón y se calentó durante 2 horas a 200 °C. Después del tratamiento

térmico, el autoclave se enfrió a temperatura ambiente usando agua fría. Los precipitados se centrifugaron a 9000 rpm durante 15 min. Las nanopartículas se re-dispersaron en etanol en un baño de sonicación. Este tratamiento de lavado se repitió 3 veces. Después del tratamiento de lavado final, las nanopartículas se re-dispersaron en etanol en una concentración de 5 mg/ml. La solución de nanopartículas se extendió sobre la muestra en un volumen de 100 µl y después se revistió por rotación a 2000 rpm durante 45 segundos. Inmediatamente después del revestimiento por rotación, los sustratos se colocaron en una placa caliente calentada a 150 °C para secar el disolvente durante 10 minutos.

TiO₂ revestido por pulverización:

Los sustratos se calentaron a 250 °C en una placa caliente. El bis(acetilacetato) de diisopropóxido de titanio se diluyó en etanol anhidro en una concentración de 1:10 (v:v). Se pulverizaron homogéneamente 15 ml de esta solución con una bomba manual sobre los sustratos calientes con un área total de 11,4 cm x 22,4 cm. Las pulverizaciones se llevaron a cabo pulverizando durante 10 segundos y esperando después 20 segundos. Los sustratos se mantuvieron durante otros 10 minutos a 250 °C y se calentaron después hasta 500 °C durante 45 minutos antes de enfriarse.

Deposición de la capa tipo p inferior:

Los dispositivos invertidos se produjeron depositando un primer material de electrodo que comprende una capa de un semiconductor tipo p como la capa de electrodo inferior en el dispositivo.

Se disolvió completamente 1 mmol de nitrato de níquel hexahidratado en 1 ml de etilenglicol y se añadió 1 mmol de etilendiamina a la solución. El humo se expulsó con aire comprimido antes de tapar. Después de agitar la solución vigorosamente, se colocó en una jeringa y se filtró a través de un filtro de 0,2 µm directamente sobre el sustrato de FTO para evitar la aglomeración. El sustrato se revistió por rotación a 5000 rpm durante 50 segundos y se secó después a 100 °C en una placa caliente durante 10 minutos. A continuación, las películas se recocieron a 300 °C durante 1 hora.

Fabricación de contacto posterior:

La fotorresistencia de inversión de imagen AZ 5214 E se revistió por rotación a 5000 rpm durante 45 segundos y se horneó durante 50 segundos a 110 °C. La exposición a la luz UV a través de una fotomáscara de vidrio estampado cromado y la posterior inversión de la imagen condujo a la solubilidad de las regiones diseñadas para los dedos de los contactos posteriores. Estos se disolvieron en un baño revelador, dando como resultado una capa de fotorresistencia estampada.

En la Figura 13 se muestra una imagen de SEM inclinada de una fotorresistencia estampada después del revelado que muestra un perfil socavado beneficioso con distancia de paso y ancho de dedo de 1 µm. La figura 14 muestra una imagen de microscopio óptico que muestra electrodos estampados con paso y ancho de dedo de 1 µm después del despegue.

Las Figuras 22 a 24 muestran imágenes de microscopio óptico de electrodos estampados después del despegue con un ancho de dedo de 1 µm y distancias de paso de 5 a 20 µm (5, 10 o 20 µm).

Electrodo conductor de hueco de cubierta de Ni + NiO:

La capa de fotorresistencia estampada se revistió con 100 nm de Al₂O₃ aislante y 100 nm de níquel a través de la evaporación por haz de electrones. El despegue de las regiones de fotorresistencias restantes se realizó en un baño caliente de dimetilsulfóxido. Los dispositivos basados en Ni se recocieron posteriormente a 400 °C durante 30 minutos para crear una capa de Ni oxidado como una capa de bloqueo de electrones tipo p.

Capa de bloqueo Au + NiO + tior para electrodo conductor de hueco:

La capa fotorresistente estampada se revistió con 100 nm de Al₂O₃ aislante y 100 nm de Au + 10 nm de NiO a través de la evaporación por haz de electrones. El despegue de las regiones de fotorresistencias restantes se realizó en un baño caliente de dimetilsulfóxido.

La capa de bloqueo de alcanotior se ensambló sobre las áreas de oro expuestas disolviendo 1 mM de dodecano-1-tior en etanol y sumergiendo los sustratos preparados con los electrodos estampados durante 24 h para el autoensamblaje.

En la Figura 17 se muestra un esquema del dispositivo de contacto posterior en el que la capa conductora de huecos se evapora sobre el electrodo de oro antes del despegue. La derivación que crea los lados expuestos del electrodo de oro se trata con una capa aislante autoensamblable de dodecano-1-tior para evitar la inyección de electrones en el oro.

Electrodo conductor de electrones de cubierta de $Al + ti + TiO_2$ para dispositivo invertido:

Se llevó a cabo lo siguiente para completar la estructura de sustrato en el dispositivo invertido que contiene una primera capa, inferior, de electrodos de níquel y óxido de níquel.

- 5 La capa de fotorresistencia estampada se revistió con 100 nm de Al_2O_3 aislante y 50 nm de Al y 50 nm de titanio a través de la evaporación por haz de electrones. El despegue de las regiones de fotorresistencias restantes se realizó en un baño caliente de dimetilsulfóxido. Los dispositivos a base de aluminio y titanio se recocieron posteriormente a 400 °C durante 30 minutos para crear una cubierta de Al oxidado como capa de bloqueo alrededor del Al y una cubierta de TiO_2 como una capa de bloqueo de huecos tipo n.

10

Deposición de líquido iónico:

0,01 % en peso de tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio (líquido iónico, IL) se disolvió en metanol y la solución se extendió sobre los electrodos estampados después del proceso de despegue y recocido, después se revistió por rotación a 4000 rpm durante 20 segundos para secarse después a 80 °C durante 10 minutos en una placa caliente antes de la deposición de perovskita.

15

Deposición de perovskita:

- 20 Una solución de yoduro de metilamonio (MAI): $PbCl_2:PbI_2$ 3:0,98:0,02 M se disolvió en una concentración del 38,5 % en peso en dimetilformamida y se revistió por rotación sobre los sustratos estampada de electrones a 2000 rpm durante 45 segundos en una atmósfera de aire seco. El secado de la solución depositada se realizó bajo un flujo de aire débil y después los sustratos se dejaron reposar durante 15 min a temperatura ambiente y, adicionalmente, 15 min a 70 °C en una placa caliente. A continuación, las películas se recocieron en un horno durante 90 min a 100 °C y 15 min a 120 °C. Después de dejar que las películas se enfríen a temperatura ambiente, finalmente se depositó una capa de PMMA revistiendo por rotación una solución de 15 mg de PMMA disueltos en 1 ml de clorobenceno.

25

La Figura 15 muestra una imagen de SEM en sección transversal que muestra electrodos de Ni+NiO encima del Al_2O_3 aislante rodeado por perovskita cubierta con una fina capa de PMMA.

30

Capa de pasivación superficial:

El óxido de trioctilfosfina con una pureza del 99 % se disolvió con una concentración de 0,025 M en clorobenceno anhidro. Se extendieron 100 µl de esta solución sobre la superficie de la capa de perovskita y se revistió después por rotación durante 60 segundos a 2000 rpm.

35

Electrodos posteriores con forma circular

Como alternativa a los segundos electrodos en forma de peine, los sustratos se produjeron con electrodos posteriores con forma circular como se describe a continuación. Un esquema de electrodos posteriores con forma circular con una capa de transporte de electrones en la parte inferior y un electrodo de transporte de huecos separados por un aislante como se muestra en la Figura 27.

40

Deposición de monocapa estrechamente empaquetada de microesferas de poliestireno:

45

Los diámetros de las microesferas empleadas fueron de 1 µm (Fischer-Scientific, 10 % en peso). La solución de partículas se mezcló en una dilución 10:1 (v/v) con una solución 1:400 (v/v) de Triton X-100 en metanol. La solución resultante se dispersó durante 10 minutos en un baño de sonicación y se filtró después con un filtro de 2,7 µm. El revestimiento por rotación de múltiples etapas implicó una primera etapa de 300 rpm durante 10 segundos, una segunda etapa a 600 rpm durante dos minutos y una etapa adicional de 2000 rpm durante 10 segundos. La monocapa de poliestireno autoensamblada se secó a temperatura ambiente al aire durante aproximadamente 3 horas.

50

Litografía de microesferas

- 55 El ácido poliacrílico (PAA) se disolvió en etanol anhidro a una concentración de 4 mg/ml y posteriormente se revistió por rotación sobre un sustrato ya giratorio con la monocapa estrechamente empaquetada a 2000 rpm durante 60 segundos. A continuación, el sustrato se secó a 60 °C en una placa caliente para eliminar el disolvente restante. Se evaporaron 50 nm de Au en un evaporador térmico para cubrir las regiones de PAA aislantes, así como las microesferas. El sustrato se sumergió en un baño de tolueno y se sonicó durante 10 minutos para despegar las microesferas de poliestireno y dejar atrás la capa porosa de PAA aislante y Au conductor.

60

En la Figura 28 se muestra una imagen de vista superior de SEM de la capa de PAA estampada mediante litografía de microesferas. El diámetro del hueco es ligeramente inferior a 1 µm, que es el diámetro de las perlas que se ensamblaron en un patrón estrechamente hexagonal para crear este patrón.

En la Figura 29 se muestra una imagen de vista superior de SEM de la capa de PAA estampada revestida con oro mediante litografía de microesferas.

Pruebas de dispositivos:

- 5 Los dispositivos se iluminaron desde el lado de PMMA con luz solar simulada AM15 (ABET Technologies Sun 2000, calibrados con diodo de referencia de Si filtrado KG5 certificado por NREL) y se midieron después con un Keithley 2400 en la dirección de exploración de tensión de polarización directa e inversa. Los dispositivos no estaban enmascarados, pero el área activa está bien definida por la geometría de los dedos, que cubren un área de 0,09 cm² por dispositivo.
- 10 La Figura 16 muestra las características de densidad de corriente - tensión (JV) bajo luz (LC) y en la oscuridad (DC) de dispositivos, cuyos electrodos de níquel fueron recocidos (an) o grabados con plasma O₂ para crear una cubierta de NiO.
- 15 La Figura 18 muestra las características de densidad de corriente - tensión (JV) bajo luz (LC) y en la oscuridad (DC) del dispositivo, que usa oro como electrodo conductor de huecos, NiO evaporado como capa de transporte de huecos y 1-dodecanotiol como capa de bloqueo de derivación.
- 20 La Figura 19 muestra las características de densidad de corriente - tensión (JV) bajo luz de los dispositivos, que no se trataron o que se trataron con líquido iónico (ion) y/o la perovskita se revistió con óxido de trioctilfosfina (TOPO). Se muestra que la tensión de circuito abierto mejora con el tratamiento con TOPO.
- 25 La Figura 20 muestra la eficiencia de conversión de potencia estabilizada (mantenida a la tensión del punto de máxima potencia durante 50 segundos) de un líquido iónico y un dispositivo tratado con TOPO.
- 30 La Figura 21 muestra las características de densidad de corriente - tensión (JV) en dirección inversa y directa bajo la luz de dispositivos que se invirtieron. La capa inferior de TiO₂ de transporte de electrones se reemplazó por una capa de NiO de transporte de huecos y los electrodos de dedo de níquel se reemplazaron con titanio, que se recoció para crear una cubierta de TiO₂ de transporte de electrones.
- 35 La Figura 25 muestra la corriente de cortocircuito medida bajo luz para dispositivos con distancias de paso de dedo de 1 µm, 5µm, 10µm y 20µm. La capa de transporte de electrones usada es TiO₂ revestido por rotación.
- La Figura 26 muestra la corriente de cortocircuito medida bajo luz para dispositivos con capas de transporte de electrones de TiO₂ revestido por rotación, SnO₂ revestido por rotación y TiO₂ revestido por pulverización con distancias de paso de dedo de 1 µm (solo TiO₂ revestido por rotación), 5µm, 10 µm y 20 µm (normalizada a la Jsc a 5 µm). La capa de transporte de electrones usada es TiO₂ revestido por rotación.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo optoelectrónico que comprende:

- 5 (a) un sustrato que comprende al menos un primer electrodo, cuyo al menos un primer electrodo comprende un primer material de electrodo, y al menos un segundo electrodo, cuyo al menos un segundo electrodo comprende un segundo material de electrodo; y
(b) una capa de un material fotoactivo dispuesta sobre el sustrato, cuyo material fotoactivo está en contacto con el al menos un primer electrodo y el al menos un segundo electrodo,

10 cuyo sustrato comprende:

- una capa del primer material de electrodo; y,
- dispuesta sobre la capa del primer material de electrodo, una capa de un material aislante, cuya capa de un material aislante cubre parcialmente la capa del primer material de electrodo; y,
- dispuesto sobre la capa del material aislante, el segundo material de electrodo,

en donde el material fotoactivo comprende un compuesto cristalino que es una perovskita, cuya perovskita comprende:

- 20 - uno o más primeros cationes seleccionados de cationes metálicos o metaloides;
- uno o más segundos cationes seleccionados de Cs^+ , Rb^+ , K^+ , NH_4^+ y cationes orgánicos; y
- uno o más aniones de haluro o calcogenuro, y

en donde el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo optoelectrónico de contacto posterior, en el que:

- 25 el sustrato tiene un primer lado en el que están dispuestos el uno o más primer y segundo electrodos, y la capa del material fotoactivo está dispuesta en el primer lado del sustrato; y
la capa del material fotoactivo tiene un primer lado y un segundo lado, y el primer lado de la capa del material fotoactivo está en contacto con el sustrato.

30 2. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la capa del material aislante está dispuesta directamente sobre, y en contacto con, la capa del primer material de electrodo, y la capa del segundo material de electrodo está dispuesta directamente sobre, y en contacto con, la capa del material aislante.

35 3. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde:

el material fotoactivo tiene una longitud de difusión de electrones y huecos superior a 100 nm, pero inferior o igual a 80 μm ; y/o

- 40 el uno o más primeros cationes son cationes metálicos o metaloides seleccionados de Pd^{4+} , W^{4+} , Re^{4+} , Os^{4+} , Ir^{4+} , Pt^{4+} , Sn^{4+} , Pb^{4+} , Ge^{4+} , Te^{4+} , Bi^{3+} , Sb^{3+} , Sn^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Ge^{2+} , Ni^{2+} , Au^+ , Ag^+ y Cu^+ , el uno o más segundos cationes son uno o más monocationes seleccionados de Cs^+ , Rb^+ , K^+ y monocationes orgánicos, y el uno o más aniones se seleccionan de F^- , Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-} , Se^{2-} y Te^{2-} ; y/o

el material fotoactivo comprende un compuesto cristalino que es una perovskita de fórmula (II):

45
$$[\text{A}][\text{B}][\text{X}]_3 \quad (\text{II})$$

en donde: [A] es dicho uno o más segundos cationes; [B] es dicho uno o más primeros cationes que se seleccionan de dicaciones metálicos o metaloides; y [X] uno o más aniones de haluro.

50 4. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el primer material de electrodo comprende un óxido conductor transparente o un metal,

preferiblemente, en donde el primer material de electrodo comprende: un óxido conductor transparente seleccionado de: óxido de indio y estaño (ITO); óxido de estaño dopado con un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, galio, magnesio, cadmio, indio, estaño, escandio, itrio, cobalto, manganeso, cromo y boro; óxido de estaño dopado con flúor (FTO); u óxido de zinc dopado con un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, galio, magnesio, cadmio, indio, estaño, escandio, itrio, cobalto, manganeso, cromo y boro o un metal seleccionado de titanio, aluminio, cobre, plata, oro, níquel o platino,

60 más preferiblemente, en donde el primer material de electrodo comprende además un semiconductor tipo n seleccionado opcionalmente de: óxidos de titanio, estaño, zinc, estroncio, circonio, niobio, tantalio, indio, galio, neodimio, paladio y cadmio; calcogenuros, óxidos y oxisulfuros de cadmio, estaño, zinc, plomo y bismuto, opcionalmente en donde el semiconductor tipo n se selecciona de CdS , CdSe , ZnS , ZnSe , SnS , SnSe , PbS , PbSe , Bi_2S_3 , Bi_2Se_3 , $\text{ZnO}_{1-x}\text{S}_x$ y $\text{SnO}_{1-x}\text{S}_x$; y semiconductores orgánicos tipo n, opcionalmente, seleccionado de C_{60} , C_{70} y derivados de los mismos, hidrocarburos poliaromáticos y derivados de los mismos, semiconductores orgánicos poliméricos tipo n, polifluorenos, poliarilénos, copolímeros de perileno-tiofeno y copolímeros de polifluoreno-arilamina,

opcionalmente, en donde el primer material de electrodo comprende además un material de electrodo colector de electrones y/o

nanopartículas de un semiconductor tipo n,

más preferiblemente en donde el primer material de electrodo comprende:

5

un óxido conductor transparente o un metal;

y dispuesta sobre el óxido conductor transparente o un metal, una capa de un semiconductor tipo n.

5. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el segundo material de electrodo comprende un óxido conductor transparente o un metal,

10

preferiblemente, en donde el segundo material de electrodo comprende: un óxido conductor transparente seleccionado de: óxido de indio y estaño (ITO); óxido de estaño dopado con un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, galio, magnesio, cadmio, indio, estaño, escandio, itrio, cobalto, manganeso, cromo y boro; óxido de estaño dopado con flúor (FTO); u óxido de zinc dopado con un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, galio, magnesio, cadmio, indio, estaño, escandio, itrio, cobalto, manganeso, cromo y boro; o un metal seleccionado de aluminio, cobre, plata, oro, níquel o platino,

15

más preferiblemente, en donde el segundo material de electrodo comprende además un semiconductor tipo p, opcionalmente seleccionado de: calcogenuros, óxidos y oxisulfuros de níquel, tungsteno, molibdeno o cobre; semiconductores orgánicos tipo p, opcionalmente seleccionados de derivados de arilamina, derivados de tiofeno, etilendioxitiofeno, compuestos de espiro-bifluoreno, espiro-OMeTAD, espiro-TAD, politriarilaminas, politrifendiaminas y derivados de las mismas, TFB y PFB, opcionalmente, en donde el semiconductor orgánico está dopado con agentes oxidantes; y haluros metálicos y pseudohaluros metálicos, opcionalmente, en donde los haluros metálicos y pseudohaluros metálicos se seleccionan de tiocianato de cobre y yoduro de cobre,

20

25

un óxido conductor transparente o un metal; y

dispuesta sobre el óxido conductor transparente o un metal, una capa de un semiconductor tipo p, opcionalmente, en donde el segundo electrodo comprende:

30

una capa de níquel y una capa de óxido de níquel; o

una capa de titanio y una capa de dióxido de titanio.

6. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde:

35

el material aislante comprende un polímero o un material inorgánico dieléctrico, preferiblemente, en donde el material aislante comprende un óxido de uno o más de aluminio, circonio, silicio, itrio e iterbio; y/o el dispositivo optoelectrónico comprende además un revestimiento antirreflectante dispuesto sobre el material fotoactivo; y/o

40

el dispositivo optoelectrónico comprende además una capa de pasivación dispuesta sobre la capa del material fotoactivo; y/o el dispositivo optoelectrónico comprende además una capa hidrófoba dispuesta sobre la capa del material fotoactivo.

45

7. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde:

el dispositivo optoelectrónico comprende, además, una capa de un material base, y en donde la capa del primer material de electrodo está dispuesta sobre la capa del material base, preferiblemente, en donde el material base comprende vidrio, plástico, metal y/o silicio; y/o

50

la luz se absorbe o emite a través del segundo lado de la capa del material fotoactivo; y/o la capa del primer material de electrodo tiene un espesor de 10 nm a 300 nm.

8. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo optoelectrónico comprende una segunda capa dispuesta sobre la capa del primer material de electrodo, cuya segunda capa comprende la capa del material aislante y el material fotoactivo,

55

preferiblemente, en donde el dispositivo optoelectrónico comprende una tercera capa dispuesta sobre la segunda capa, cuya tercera capa comprende el segundo material de electrodo y el material fotoactivo, más preferiblemente, en donde el dispositivo optoelectrónico comprende una cuarta capa dispuesta sobre la tercera capa, cuya cuarta capa comprende el material fotoactivo, opcionalmente, en donde:

60

la segunda capa tiene un espesor de 50 nm a 2000 nm; y/o

la tercera capa tiene un espesor de 50 nm a 1000 nm; y/o

65

la cuarta capa tiene un espesor de 5 nm a 5000 nm.

9. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la capa del material aislante es una capa estampada del material aislante, preferiblemente, en donde, el segundo material de electrodo se dispone sobre la capa estampada del material aislante y forma al menos parte del al menos un segundo electrodo, cuyo segundo electrodo está estampado.
- 5
10. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la capa del material aislante comprende dos o más regiones lineales del material aislante, preferiblemente, en donde:
- 10 el sustrato comprende o más regiones lineales del material aislante dispuestas sobre la capa del primer material de electrodo, y, dispuesta en cada región lineal del material aislante, una región lineal del segundo material de electrodo; y/o una o más de las regiones lineales del material aislante y/o las regiones lineales del segundo material de electrodo tienen un ancho de 100 nm a 50 µm y una longitud de 10 µm a 1 m; y/o
- 15 el sustrato comprende dos o más regiones lineales expuestas del primer material de electrodo, opcionalmente, en donde una o más de las regiones lineales expuestas del primer material de electrodo tiene un ancho de 10 nm a 50 µm y una longitud de 10 µm a 10000 µm; y/o el sustrato comprende tres o más regiones lineales del segundo material de electrodo que son sustancialmente paralelas y en donde la separación entre dos regiones lineales adyacentes del segundo material de electrodo es de 100 nm a 50 µm, preferiblemente en donde la separación entre dos regiones lineales adyacentes del segundo material de electrodo es de 500 nm a 2,0 µm; y/o
- 20 el sustrato comprende una pluralidad de regiones lineales del segundo material de electrodo conectadas a una región adicional del segundo material de electrodo para formar al menos parte del al menos un segundo; y/o el al menos un segundo electrodo comprende una estructura en forma de peine del segundo material de electrodo dispuesto sobre una estructura en forma de peine del material aislante.
- 25
11. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde:
- 30 el material fotoactivo está en contacto con el material aislante; y/o el primer electrodo no está en contacto con el segundo electrodo.
12. Un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo emisor de luz o un dispositivo fotovoltaico, preferiblemente, en donde el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo fotovoltaico, opcionalmente, en donde el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo optoelectrónico en tándem y comprende, además, dispuestos sobre el material fotoactivo, una región en tándem que comprende un primer electrodo en tándem, un segundo electrodo en tándem y una capa de un material fotoactivo en tándem.
- 35
13. Un proceso para producir un dispositivo optoelectrónico como se define en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, cuyo proceso comprende:
- 40
- (a) producir un sustrato que comprende un primer electrodo y un segundo electrodo mediante un proceso que comprende:
- 45 (i) proporcionar una capa de un primer material de electrodo dispuesto sobre una capa de un material base; (ii) disponer sobre la capa del primer material de electrodo una capa de una resistencia; (iii) realizar una etapa de litografía para definir un segundo patrón de electrodo en la capa del primer material de electrodo; (iv) disponer sobre la capa de resistencia una capa de un material aislante;
- 50 (v) disponer sobre la capa del material aislante una capa de un segundo material de electrodo; y (vi) eliminar la resistencia y el material aislante y el segundo material de electrodo dispuesto sobre la resistencia, y
- (b) disponer una capa de un material fotoactivo sobre el sustrato, cuyo material fotoactivo comprende un compuesto cristalino que es una perovskita, en donde la perovskita comprende:
- 55 - uno o más primeros cationes seleccionados de cationes metálicos o metaloides; - uno o más segundos cationes seleccionados de Cs⁺, Rb⁺, K⁺, NH₄⁺ y cationes orgánicos; y - uno o más aniones de haluro o calcogenuro.
- 60
14. Un proceso de acuerdo con la reivindicación 13, en donde:
- la etapa de litografía comprende una etapa de litografía por haz de electrones, una etapa de litografía óptica o una etapa de impresión de nanocontacto; y/o
- 65 la resistencia se elimina exponiendo la resistencia a un disolvente; y/o el proceso comprende, además, entre las etapas (iv) y (v), una etapa de disponer una capa de un material de

adhesión sobre la capa del material aislante, opcionalmente, en donde el material de adhesión comprende cromo; y/o

5 la etapa (v) comprende: (v-a) disponer, sobre la capa del material aislante, una capa de un metal, y el proceso comprende además la etapa (vii-a) de recocer el sustrato para formar una capa de óxido metálico sobre la capa del metal;

o la etapa (v) comprende (v-b) disponer, sobre la capa del material aislante, una capa de un metal, y disponer, sobre la capa del metal, una capa de un semiconductor tipo p, y el proceso comprende además la etapa (vii-b) de tratar el sustrato con un compuesto adecuado para formar una monocapa autoensamblada sobre las superficies expuestas de la capa del metal.

10 15. Un módulo que comprende dos o más dispositivos optoelectrónicos, cuyos dispositivos optoelectrónicos son como se definen en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, preferiblemente, en donde el primer electrodo de uno o más de los dispositivos o sustratos optoelectrónicos está conectado eléctricamente con el segundo electrodo de un dispositivo o sustrato adyacente.

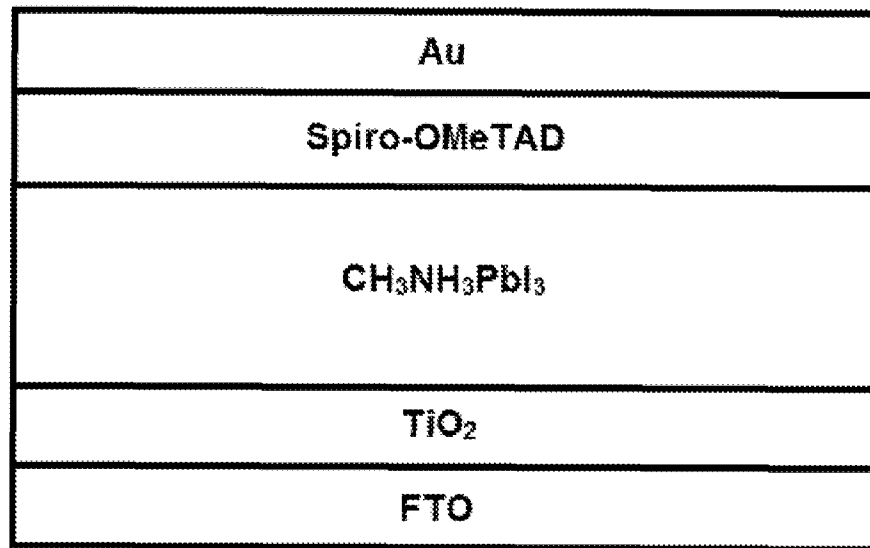


Figura 1

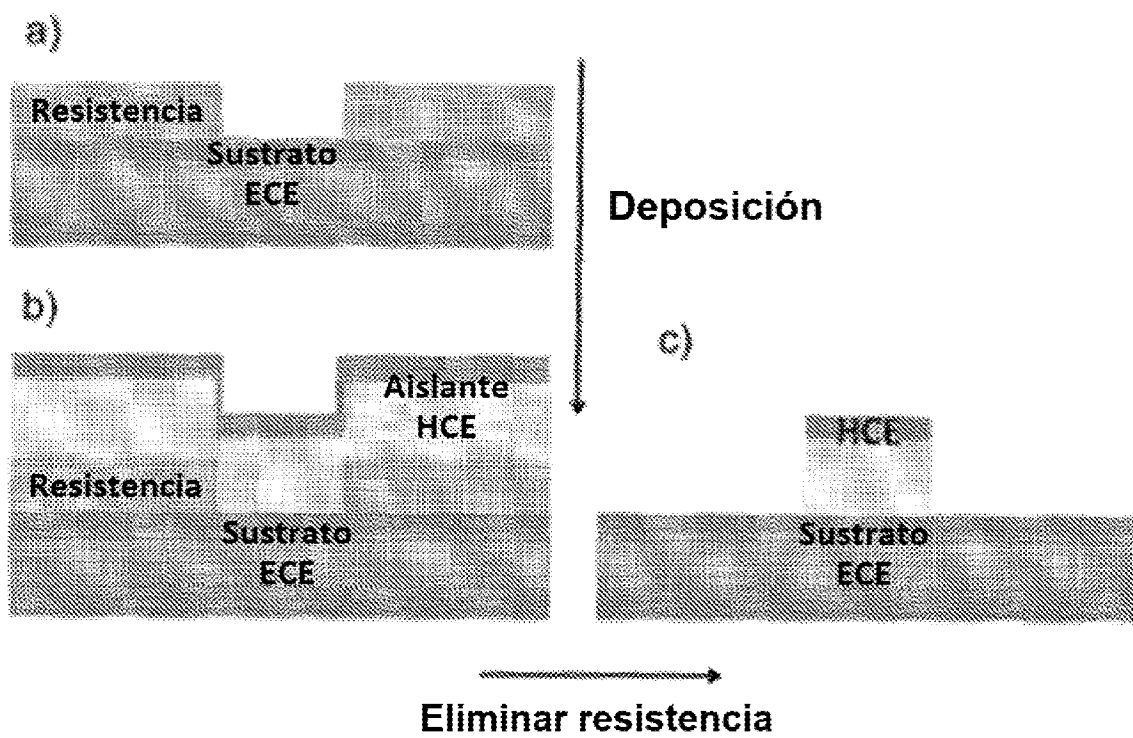


Figura 2

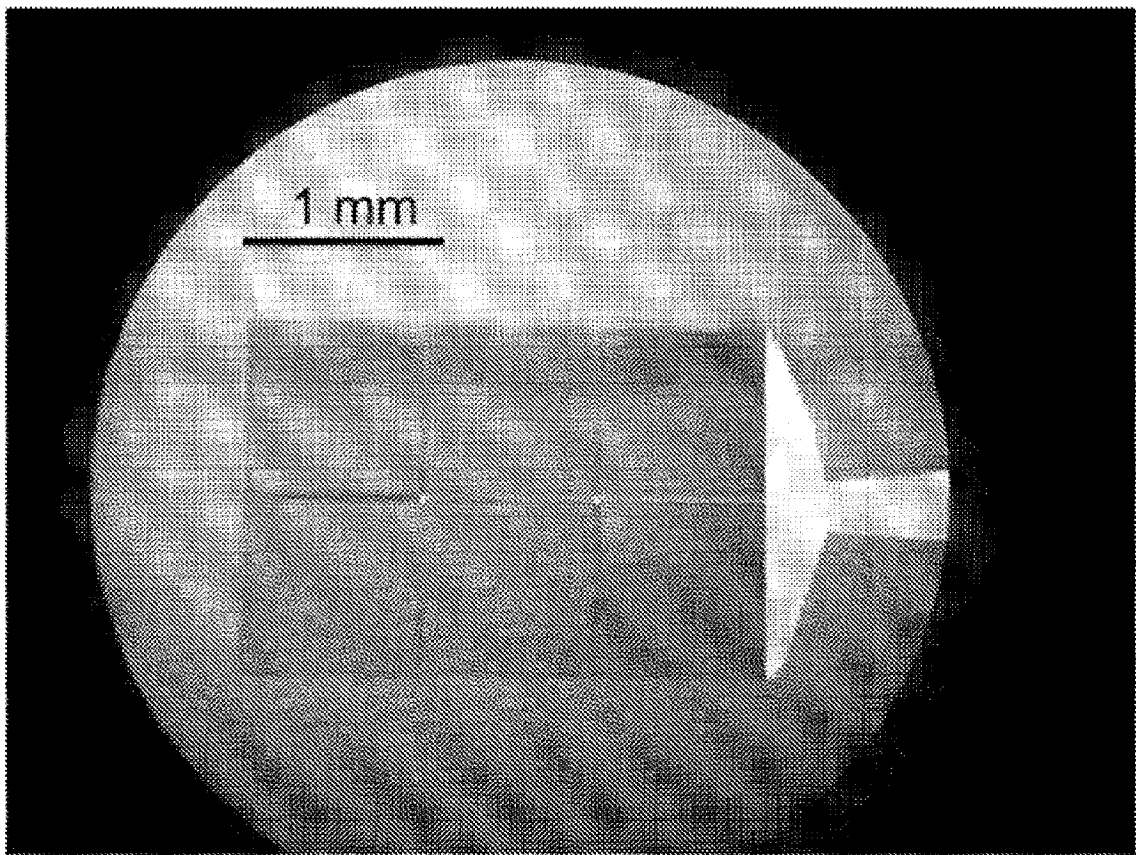


Figura 3

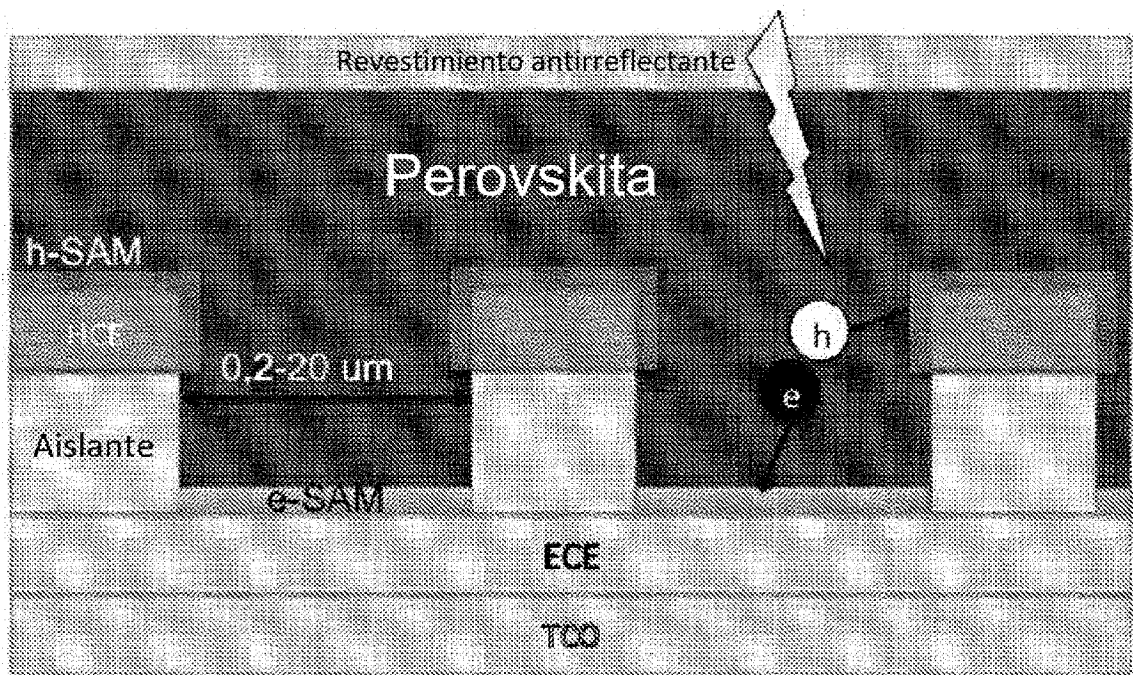


Figura 4

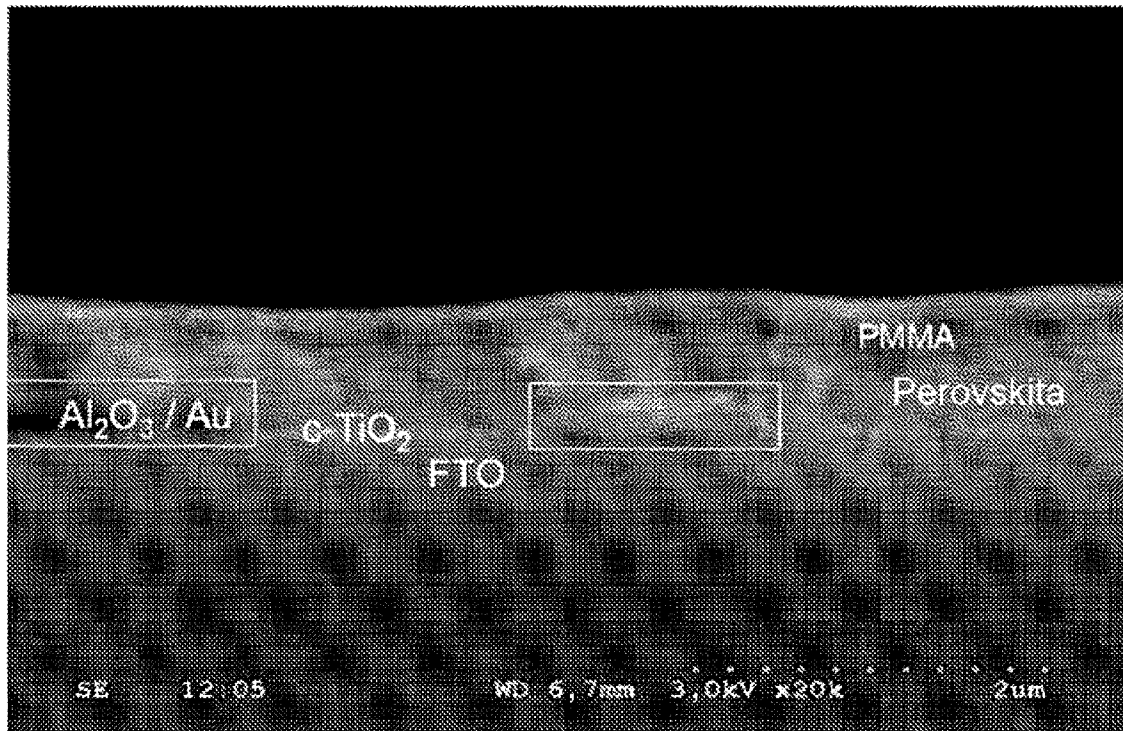


Figura 5

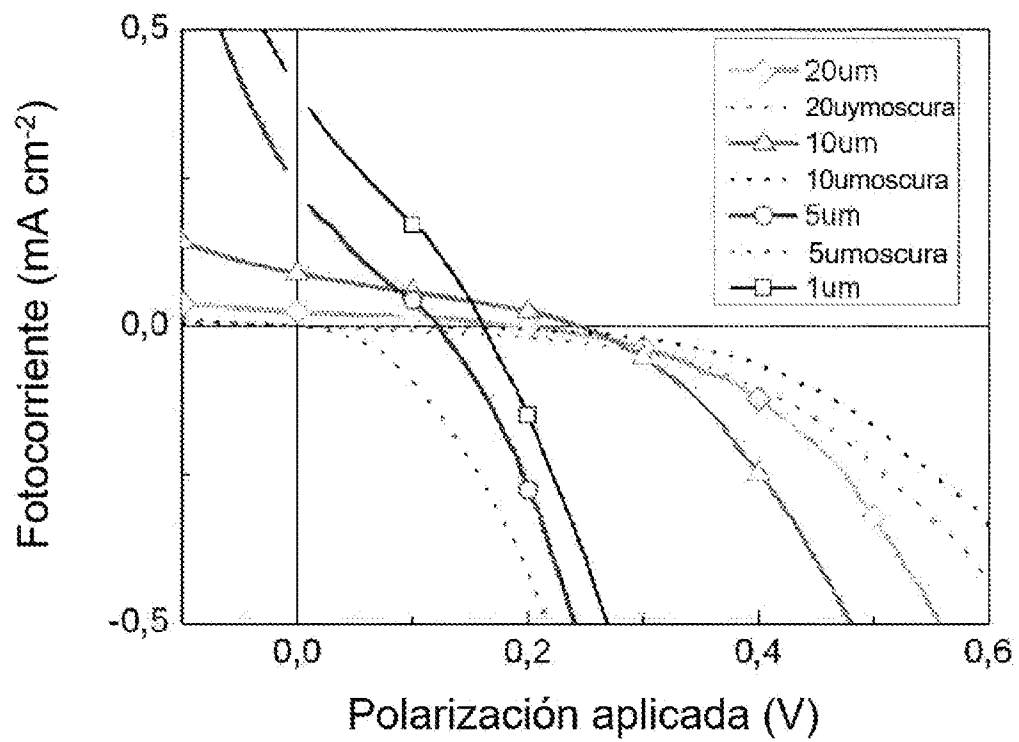


Figura 6

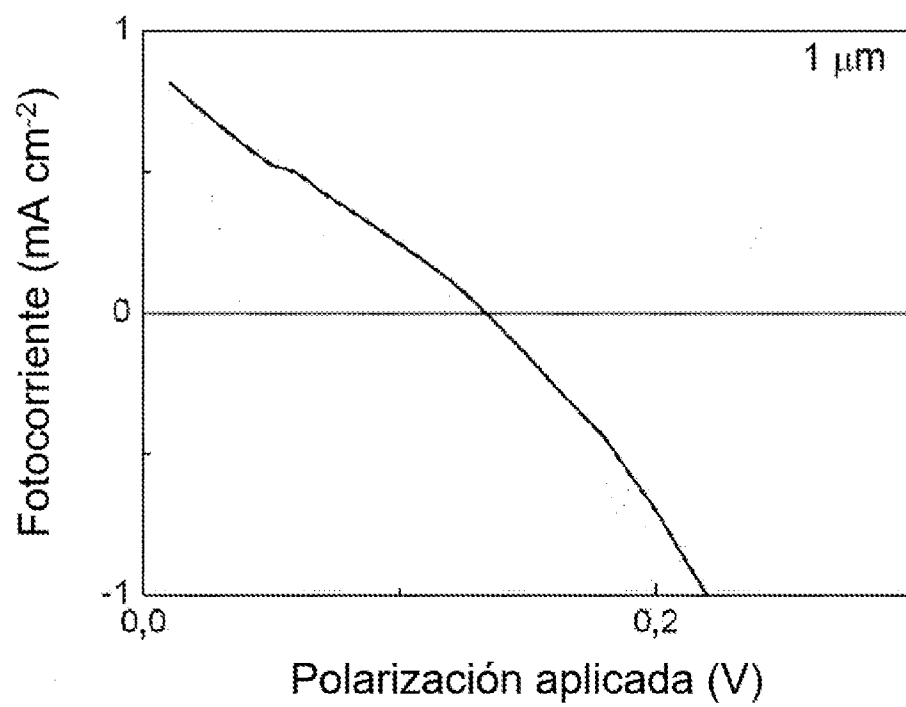


Figura 7

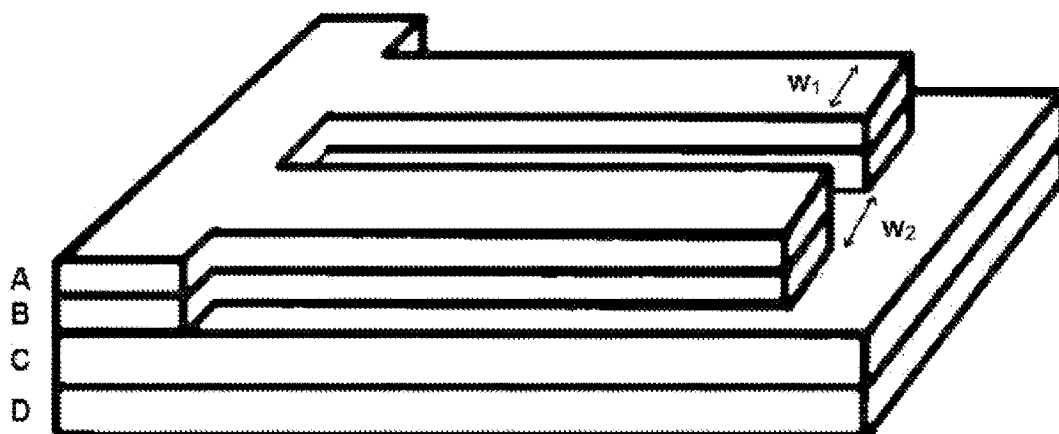


Figura 8

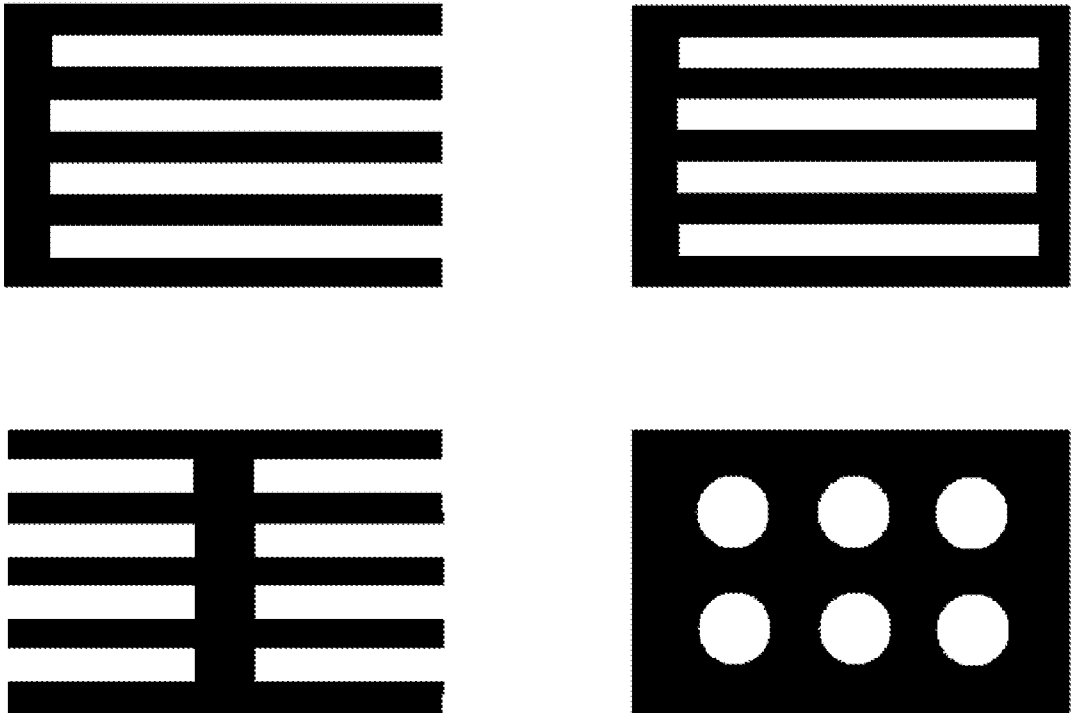


Figura 9

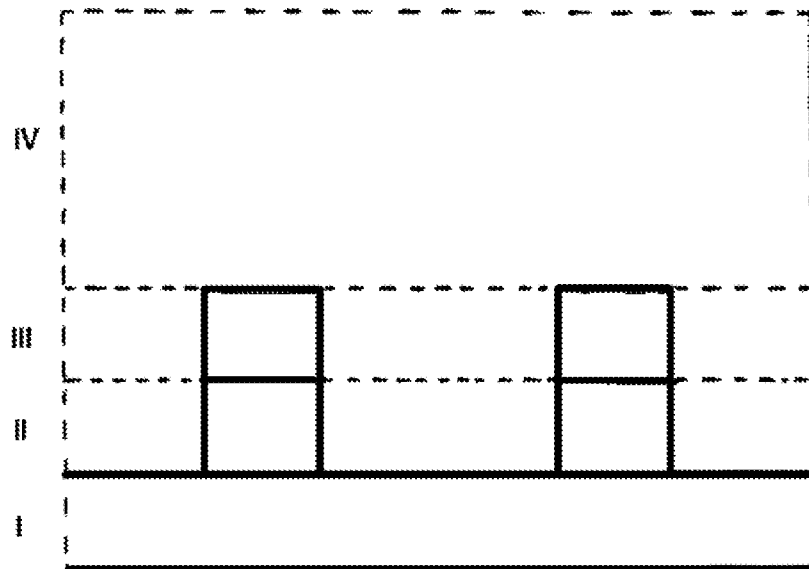


Figura 10

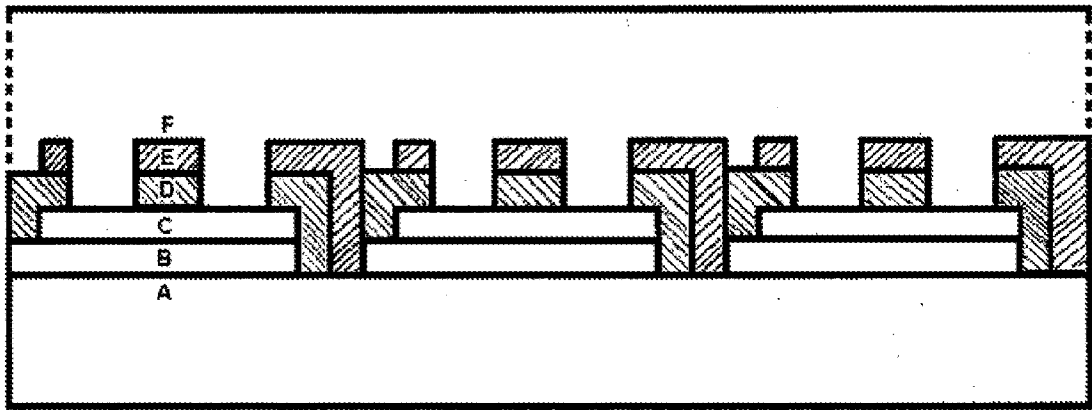


Figura 11

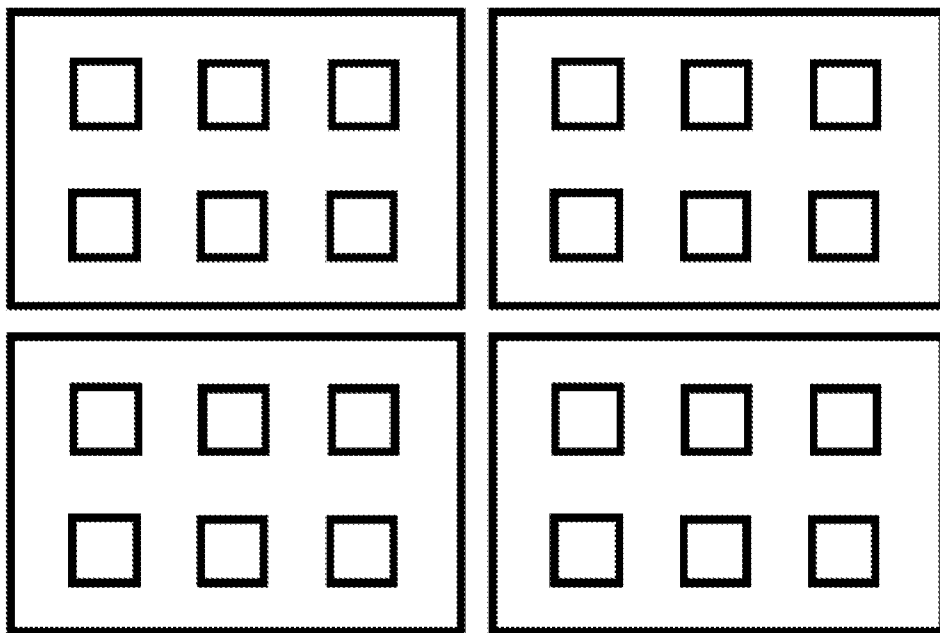


Figura 12

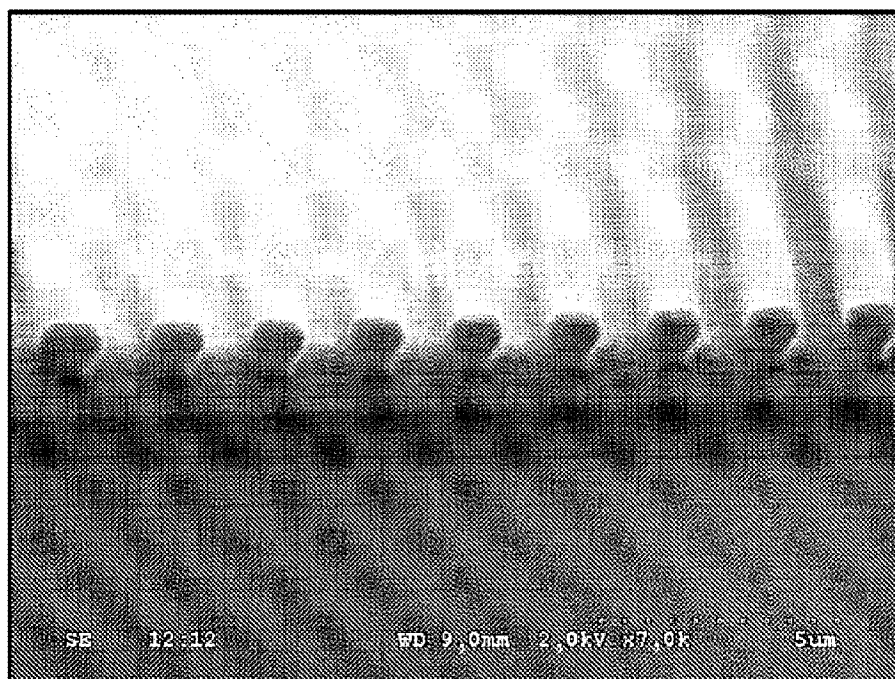


Figura 13

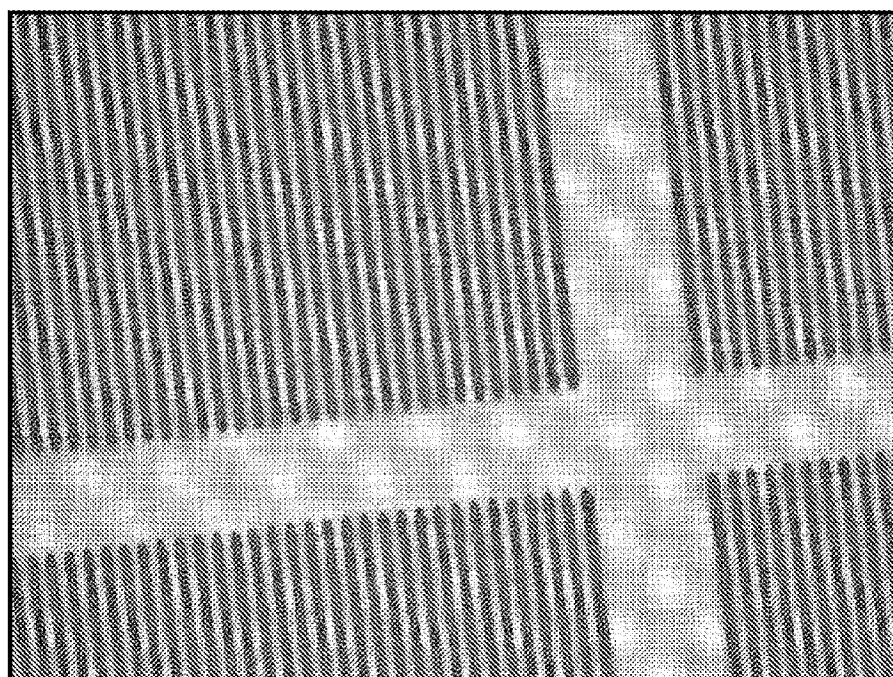


Figura 14

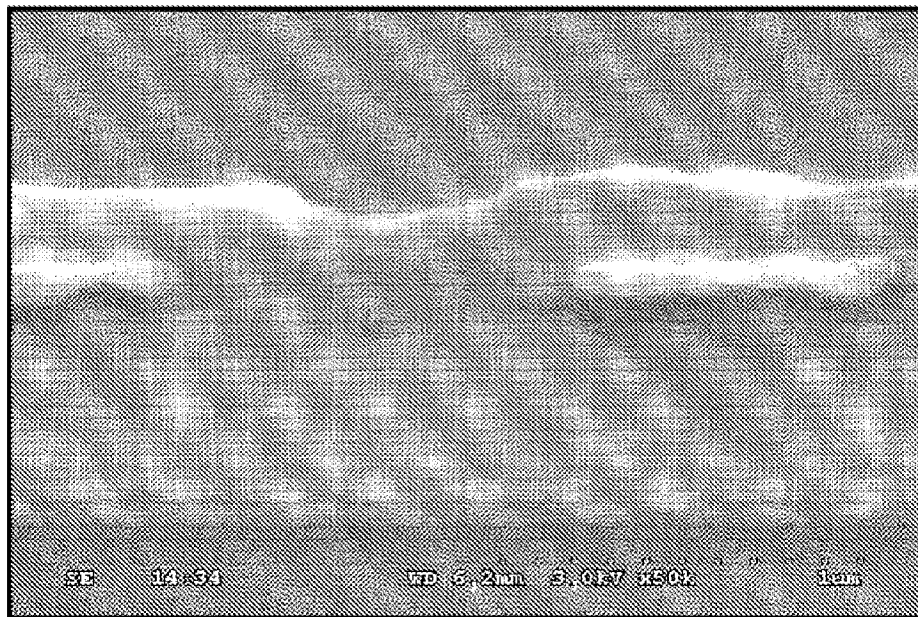


Figura 15

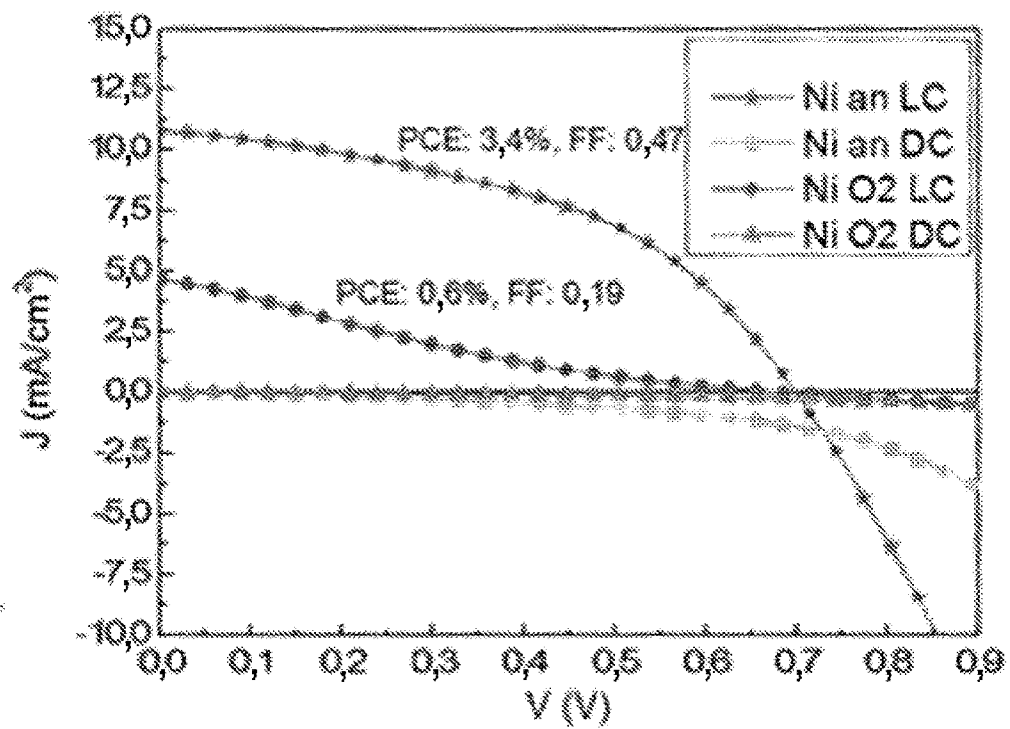


Figura 16

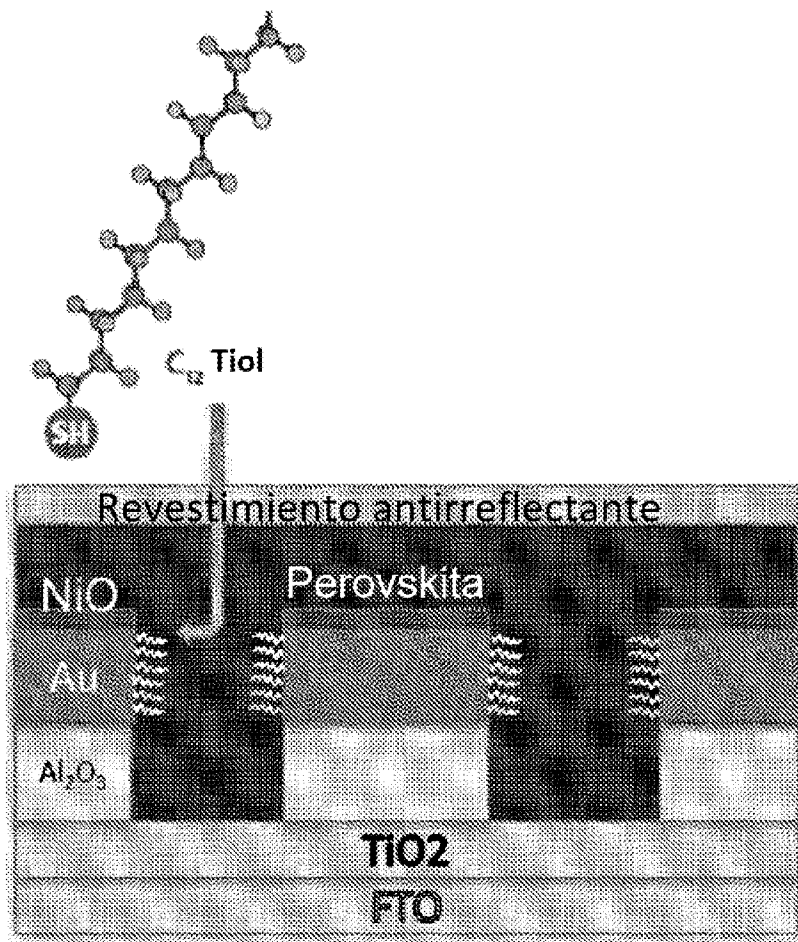


Figura 17

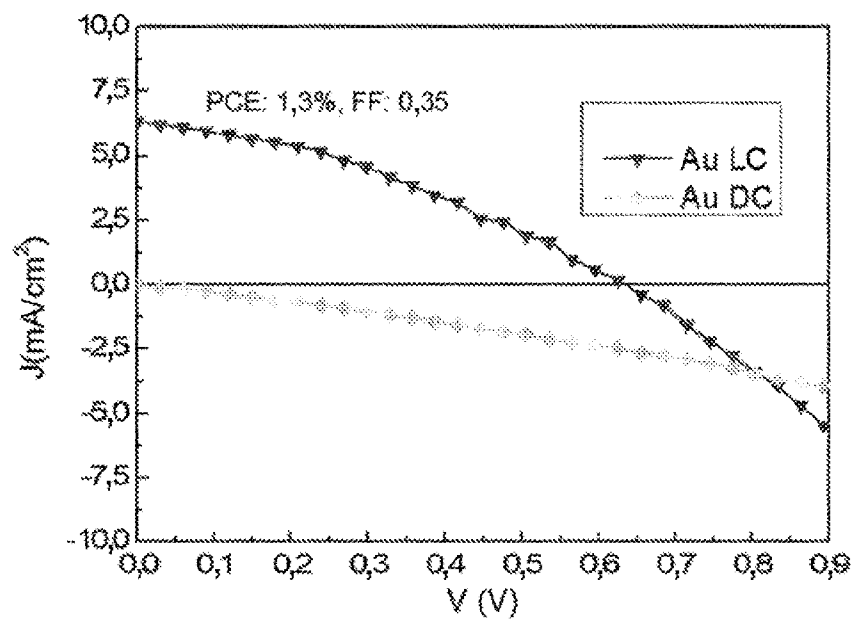


Figura 18

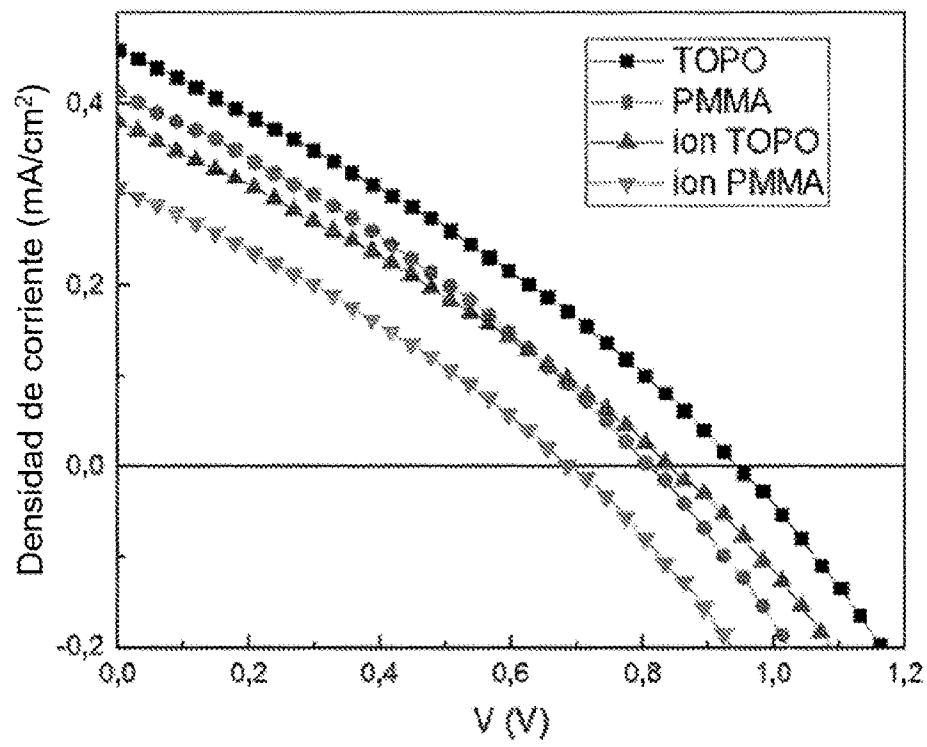


Figura 19

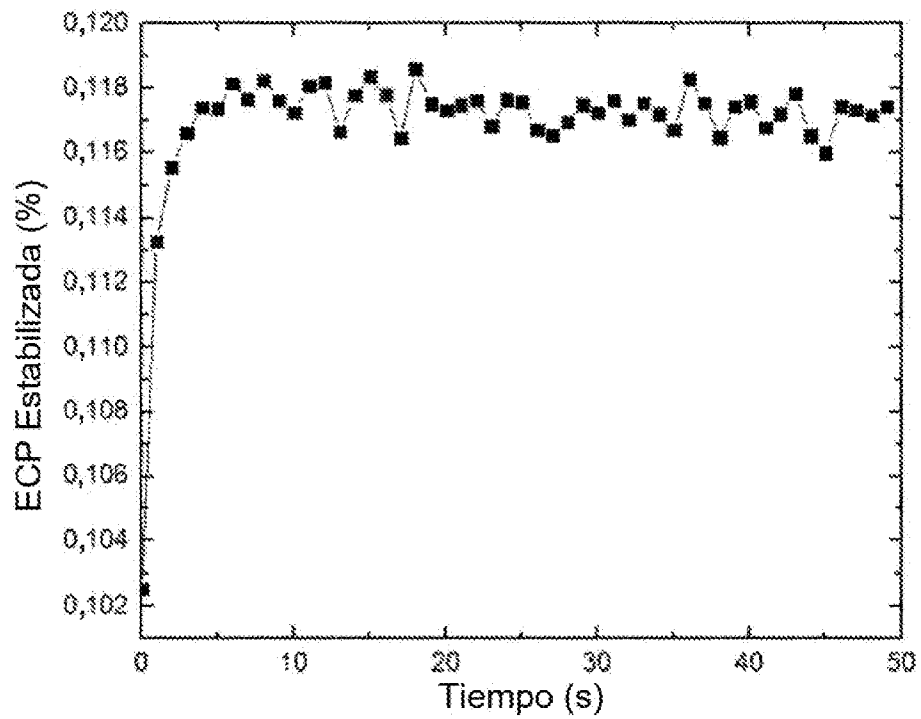


Figura 20

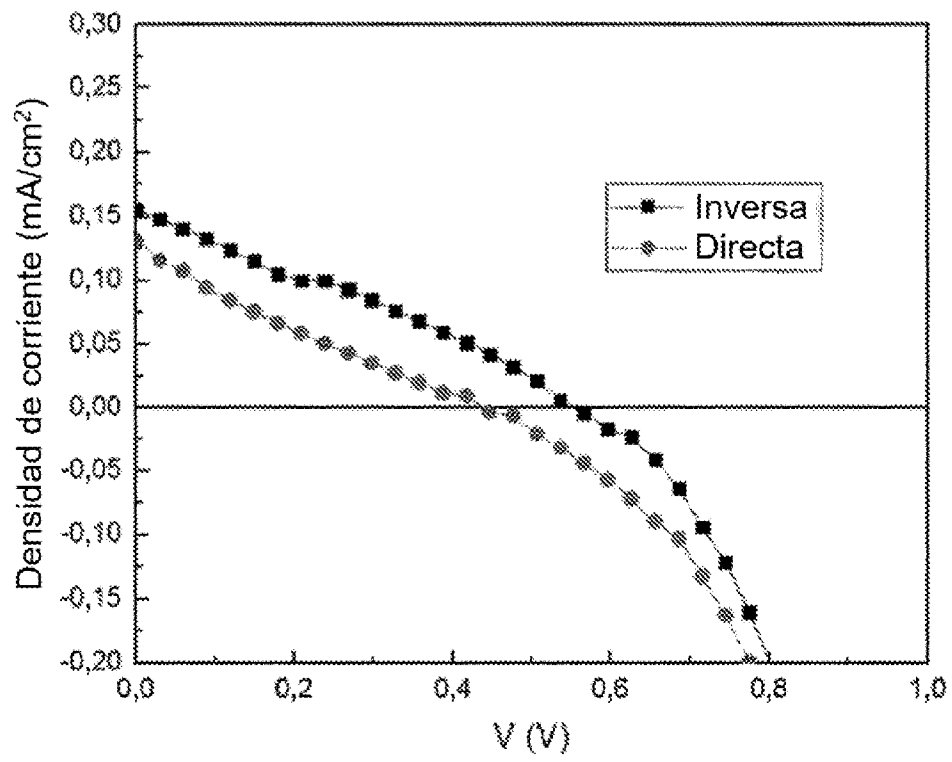


Figura 21

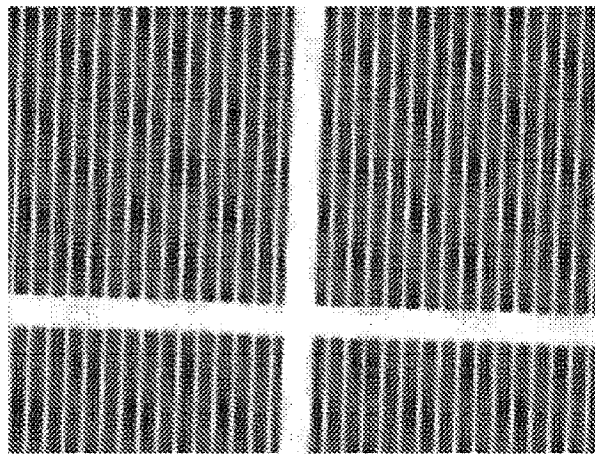


Figura 22

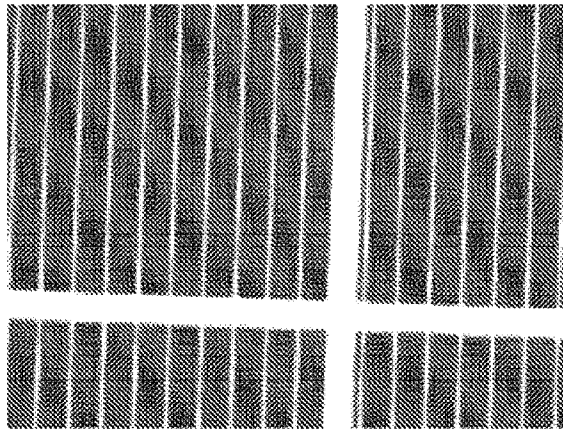


Figura 23

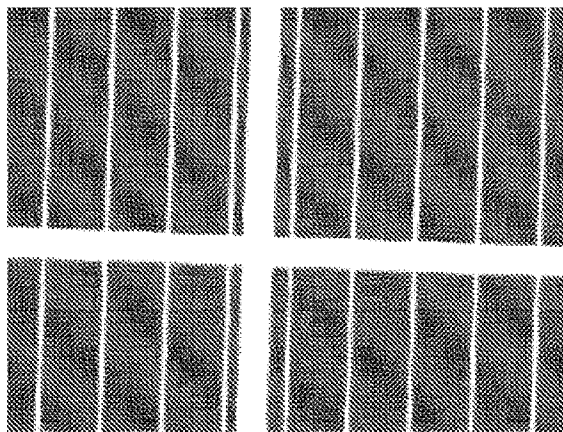


Figura 24

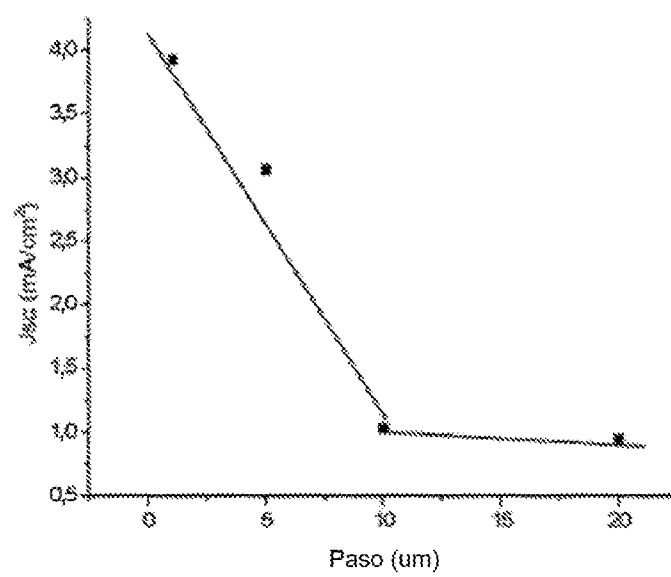


Figura 25

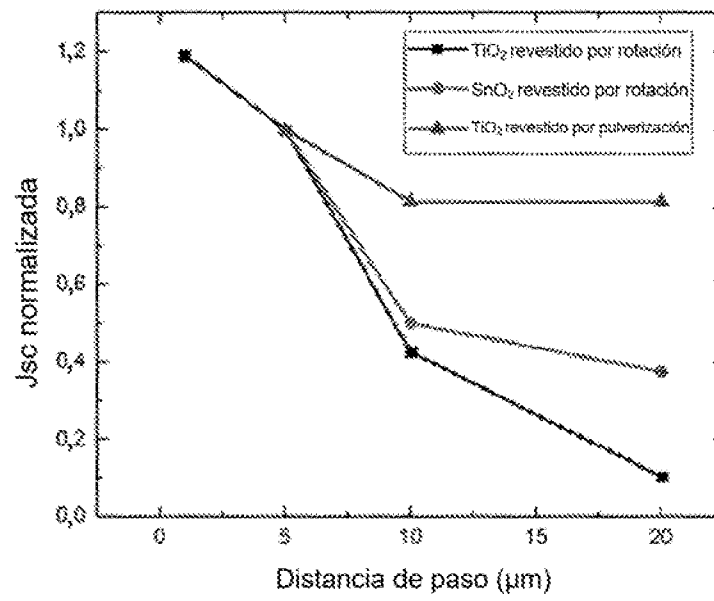


Figura 26

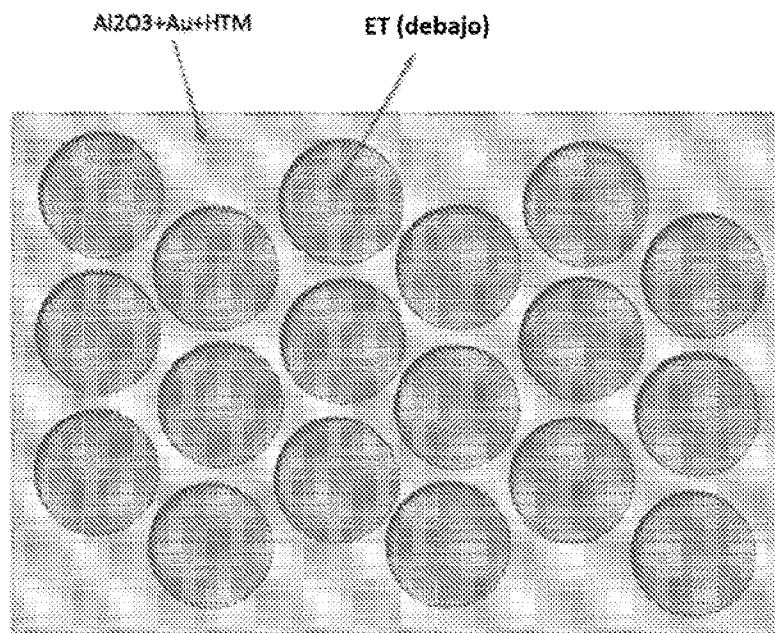


Figura 27

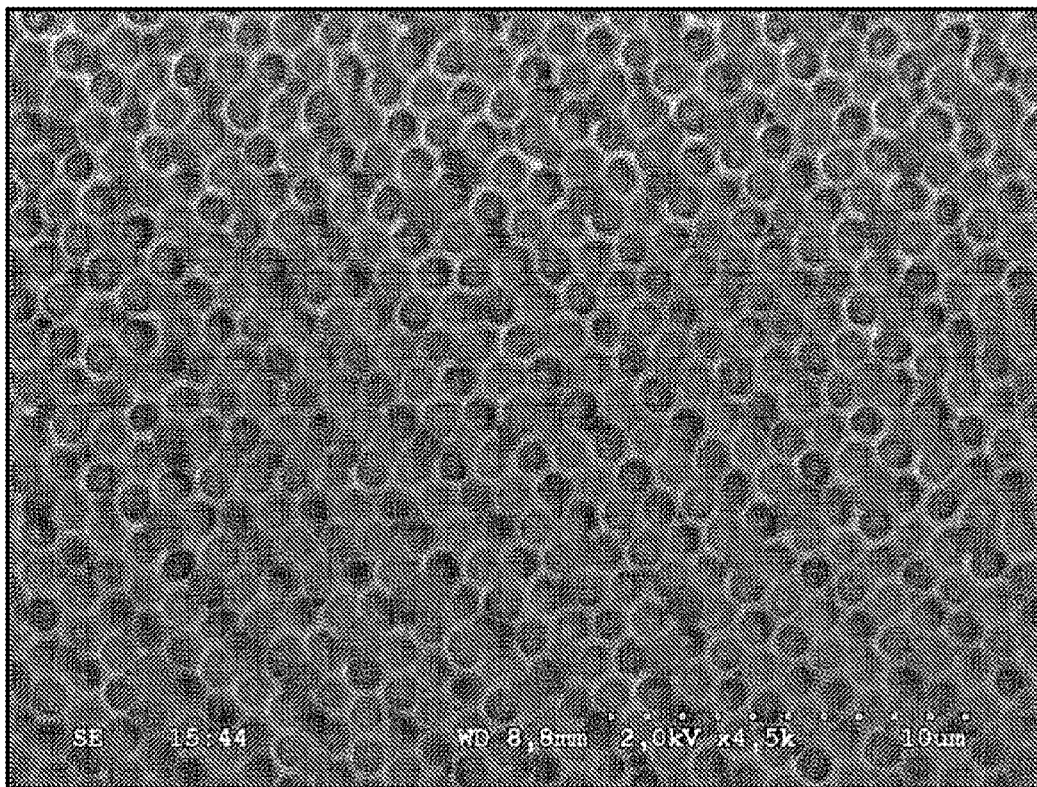


Figura 28

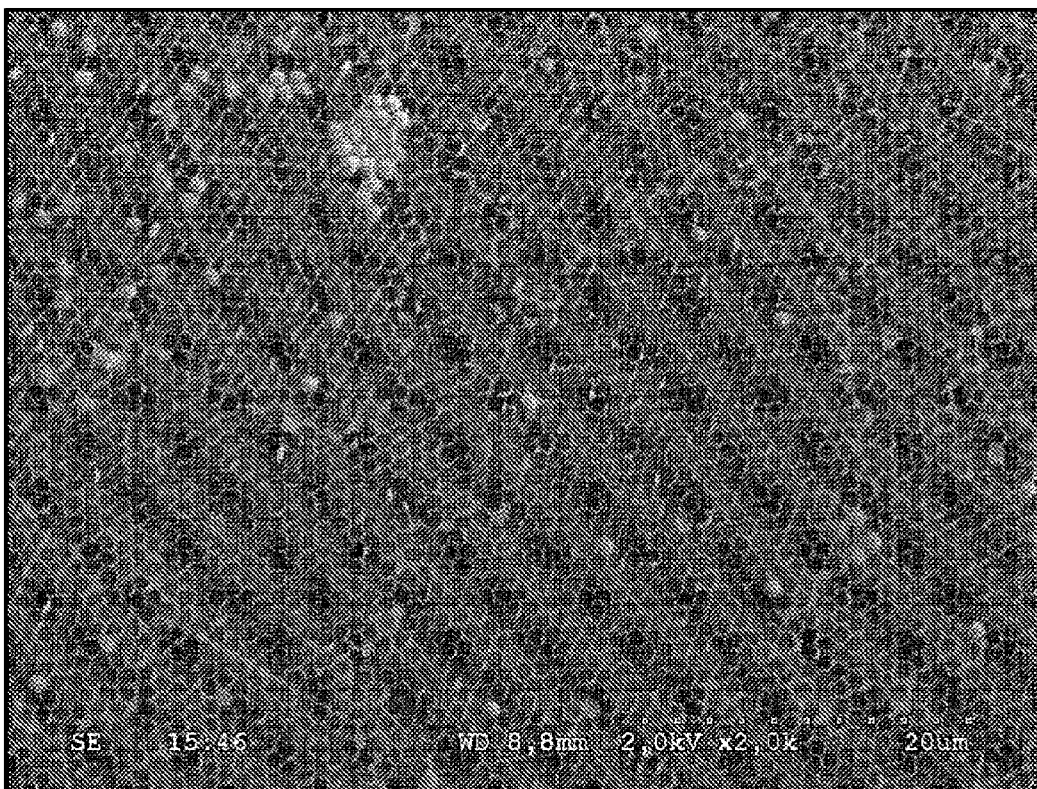


Figura 29