

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 009 874**

51 Int. Cl.:

**H01G 9/20** (2006.01)

**H10K 85/50** (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2015 E 20170937 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.01.2025 EP 3706181**

54 Título: **Método para formar una película delgada a partir de una tinta precursora de haluro de plomo para dispositivos de material de perovskita**

30 Prioridad:

**21.11.2014 US 201462083063 P**

**13.05.2015 US 201514711391**

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

**31.03.2025**

73 Titular/es:

**CUBICPV INC. (100.00%)  
28 Crosby Dr., Unit 2500  
Bedford, MA 01730, US**

72 Inventor/es:

**IRWIN, MICHAEL D.;  
CHUTE, JERRED A. y  
DHAS, VALVEK V**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 3 009 874 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

Método para formar una película delgada a partir de una tinta precursora de haluro de plomo para dispositivos de material de perovskita

## Antecedentes

5 El uso de tecnología fotovoltaica (FV) para generar energía eléctrica a partir de energía solar o radiación puede proporcionar muchos beneficios, incluyendo, por ejemplo, una fuente de energía, emisiones bajas o nulas, producción de energía independiente de la red eléctrica, estructuras físicas duraderas (sin partes móviles), sistemas estables y confiables, construcción modular, instalación relativamente rápida, fabricación y uso seguros, y buena opinión pública y aceptación de uso.

10 Los rasgos y las ventajas de la presente explicación serán fácilmente evidentes para aquellos expertos en la materia.

En «*Morphology-photovoltaic property correlation in perovskite solar cells: One-step versus two-step deposition of  $CH_3NH_3PbI_3$* » (Im et al., 2014) se explica un absorbente de luz de perovskita  $CH_3NH_3PbI_3$  que se deposita sobre una capa de  $TiO_2$  mesoporosa mediante métodos de recubrimiento en un solo paso y en dos pasos y se comparan sus rendimientos fotovoltaicos. Los autores descubrieron que el rendimiento fotovoltaico depende en gran medida del grado de cobertura de perovskita sobre la capa de  $TiO_2$  mesoporosa y de la morfología de la perovskita depositada en las celdas solares de perovskita a base de  $TiO_2$  mesoporoso.

En el documento CN 104091888 se explica una celda solar de perovskita y un método de preparación de esta. La celda solar de perovskita está compuesta por un sustrato de vidrio FTO, una capa compacta de estructura tipo sándwich de  $TiO_2/ZnO/TiO_2$ , una capa de absorción de luz activa de material de estructura mesoporosa/perovskita de  $TiO_2$ , una capa de transferencia de huecos de Spiro-OMeTAD y un electrodo de oro.

En «*Effects of Surface Blocking Layer of  $Sb_2S_3$  on Nanocrystalline  $TiO_2$  for  $CH_3NH_3PbI_3$  Perovskite Solar Cells*» (Ito et al., 2014) se explican capas de  $Sb_2S_3$  que se insertan en la interfaz entre  $TiO_2$  y perovskita  $CH_3NH_3PbI_3$  para crear celdas solares de  $CH_3NH_3PbI_3$  usando material de transporte de huecos inorgánico (CuSCN). La capa de  $CH_3NH_3PbI_3$  se recubrió por centrifugación mediante un método de una gota sobre la capa de  $TiO_2$  nanocristalino. Las eficiencias de conversión de fotoenergía y la estabilidad se mejoraron con capas de  $Sb_2S_3$ .

## Sumario de la invención

Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un método como se define en la reivindicación 1. El método comprende los pasos siguientes: preparar una tinta precursora de haluro de plomo; depositar la tinta precursora de haluro de plomo sobre un sustrato; secar la tinta precursora de haluro de plomo para formar una película delgada; y depositar un segundo disolvente y una sal sobre la película delgada. La preparación de una tinta precursora de haluro de plomo comprende los pasos siguientes: introducir un haluro de plomo en un vial; introducir un primer disolvente en el recipiente, en donde el primer disolvente se selecciona del grupo que consiste en N-ciclohexil-2-pirrolidona, alquil-2-pirrolidona, dimetilformamida, dialquilformamida, dimetilsulfóxido (DMSO), metanol, etanol, propanol, butanol, tetrahidrofurano, formamida, terc-butilpiridina, piridina, alquilpiridina, pirrolidina, clorobenceno, diclorobenceno, diclorometano, cloroformo y combinaciones de estos; poner en contacto el haluro de plomo con el primer disolvente para disolver el haluro de plomo; y añadir directamente agua a la tinta precursora de haluro de plomo.

Algunos rasgos opcionales o preferidos se definen en las reivindicaciones dependientes.

## Breve descripción de los dibujos

40 La figura 1 es una ilustración del diseño de DSSC que representa varias capas de DSSC según algunas realizaciones de la presente explicación.

La figura 2 es otra ilustración del diseño de DSSC que representa varias capas de DSSC según algunas realizaciones de la presente explicación.

La figura 3 es una ilustración de ejemplo del diseño del dispositivo BHJ según algunas realizaciones de la presente explicación.

45 La figura 4 es una vista esquemática de una celda fotovoltaica típica que incluye una capa activa según algunas realizaciones de la presente explicación.

La figura 5 es un esquema de un dispositivo DSSC de estado sólido típico según algunas realizaciones de la presente explicación.

50 La figura 6 es un diagrama estilizado que ilustra componentes de un dispositivo fotovoltaico de ejemplo según algunas realizaciones de la presente explicación.

La figura 7 es un diagrama estilizado que muestra componentes de un dispositivo fotovoltaico de ejemplo según algunas realizaciones de la presente explicación.

La figura 8 es un diagrama estilizado que muestra componentes de un dispositivo fotovoltaico de ejemplo según algunas realizaciones de la presente explicación.

5 La figura 9 es un diagrama estilizado que muestra componentes de un dispositivo fotovoltaico de ejemplo según algunas realizaciones de la presente explicación.

La figura 10 es un diagrama estilizado de un dispositivo de material de perovskita según algunas realizaciones.

10 La figura 11 es un diagrama estilizado de un dispositivo de material de perovskita según algunas realizaciones.

La figura 12 muestra imágenes de un microscopio electrónico de barrido de sección transversal con que se compara un sistema FV de perovskita manufacturado con agua (arriba) y sin agua (abajo).

Las figuras 13-20 son diagramas estilizados de dispositivos de material de perovskita según algunas realizaciones.

### 15 Descripción detallada de las realizaciones preferidas

Las mejoras en diversos aspectos de las tecnologías FV compatibles con los sistemas FV orgánicos, no orgánicos y/o híbridos prometen reducir aún más el coste de los sistemas fotovoltaicos orgánicos y de otros tipos. Por ejemplo, con algunas celdas solares, como las celdas solares sensibilizadas con colorante de estado sólido, se pueden aprovechar nuevos componentes alternativos rentables y de alta estabilidad, como los materiales de transporte de carga de estado sólido (o, coloquialmente, «electrolitos de estado sólido»). Es más, diversas clases de celdas solares pueden incluir ventajosamente materiales de interfaz y otros que pueden, entre otras ventajas, ser más rentables y duraderos que las opciones convencionales que existen actualmente.

25 La presente explicación se refiere, en general, a composiciones de materia, aparatos y métodos de uso de materiales en celdas fotovoltaicas para crear energía eléctrica a partir de la radiación solar. Más específicamente, esta explicación se refiere a composiciones de materia fotoactivas y de otro tipo, así como a aparatos, métodos de uso y formación de dichas composiciones de materia.

Ejemplos de estas composiciones de materia pueden incluir, por ejemplo, materiales de transporte de huecos, y/o materiales que pueden ser adecuados para su uso como, por ejemplo, capas interfaciales (IFL, por sus siglas en inglés), colorantes, y/u otros elementos de dispositivos FV. Dichos compuestos pueden implementarse en una variedad de dispositivos FV, tales como celdas de heterounión (por ejemplo, bicapa y en masa), celdas híbridas (por ejemplo, orgánicas con  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ , nanobarras de ZnO o puntos cuánticos de PbS), y DSSC (celdas solares sensibilizadas con colorante). Estas últimas, DSSC, existen en tres formas: electrolitos a base de disolventes, electrolitos de líquido iónico, y transportadores de huecos de estado sólido (o DSSC de estado sólido, es decir, SS-DSSC). Las estructuras SS-DSSC según algunas realizaciones pueden estar sustancialmente exentas de electrolito, conteniendo en cambio materiales de transporte de huecos tales como Spiro-OMeTAD,  $\text{CsSnI}_3$ , y otros materiales activos.

Algunos materiales, o todos, según algunas realizaciones de la presente explicación también se pueden usar de manera ventajosa en cualquier dispositivo orgánico u otro dispositivo electrónico, y algunos ejemplos incluyen, entre otros: baterías, transistores de efecto de campo (FET, por sus siglas en inglés), diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés), dispositivos ópticos no lineales, memristores, capacitores, rectificadores y/o antenas rectificadoras.

En algunas realizaciones, la presente explicación puede proporcionar dispositivos FV y otros dispositivos similares (por ejemplo, baterías, baterías FV híbridas, sistemas FV de unión múltiple, FET, LED, etc.). Dichos dispositivos pueden, en algunas realizaciones, incluir un material activo mejor, capas interfaciales y/o uno o más materiales de perovskita. Un material de perovskita puede incorporarse en uno o más aspectos diversos de un dispositivo FV u otro. 45 Un material de perovskita según algunas realizaciones puede ser de la fórmula general  $\text{CMX}_3$ , donde: C comprende uno o más cationes (por ejemplo, una amina, amonio, un metal del Grupo 1, un metal del Grupo 2 y/u otros cationes o compuestos similares a cationes); M comprende uno o más metales (los ejemplos incluyen Fe, Co, Ni, Cu, Sn, Pb, Bi, Ge, Ti y Zr); y X comprende uno o más aniones. Los materiales de perovskita según diversas realizaciones se comentan con mayor detalle a continuación.

### 50 Celdas fotovoltaicas y otros dispositivos electrónicos

Algunas realizaciones de tecnología FV pueden describirse haciendo referencia a diversas representaciones ilustrativas de celdas solares como se muestra en las figuras 1, 3, 4 y 5. Por ejemplo, una arquitectura FV de ejemplo según algunas realizaciones puede ser sustancialmente de la forma sustrato-ánodo-IFL-capa activa-IFL-cátodo. La capa activa de algunas realizaciones puede ser fotoactiva y/o puede incluir material fotoactivo. Se pueden utilizar otras

capas y materiales en la celda como se conoce en la técnica. Asimismo, debe observarse que el uso del término «capa activa» no restringe de ninguna manera o define de otro modo, explícita o implícitamente, las propiedades de cualquier otra capa, por poner un ejemplo, en algunas realizaciones, cualquiera o ambas IFL también pueden ser activas en la medida en que puedan ser semiconductoras. En particular, haciendo referencia a la figura 4, se representa una celda 2610 FV genérica estilizada, que ilustra la naturaleza altamente interfacial de algunas capas dentro de la tecnología FV. La tecnología FV 2610 representa una arquitectura genérica aplicable a varios dispositivos FV, tales como realizaciones de material de perovskita. La celda 2610 FV incluye una capa 2612 transparente de vidrio (o material similarmente transparente a la radiación solar) que permite que la radiación 2614 solar se transmita a través de la capa. La capa transparente de algunas realizaciones también puede denominarse sustrato (por ejemplo, como con la capa 1507 de sustrato de la figura 1), y puede comprender uno o más de una variedad de materiales rígidos o flexibles tales como: vidrio, polietileno, PET, Kapton, cuarzo, papel de aluminio, papel de oro o acero. La capa 2616 fotoactiva está compuesta de donador de electrones o material 2618 de tipo p, y/o un aceptor de electrones o material 2620 de tipo n, y/o un semiconductor ambipolar, que exhibe características de material tanto de tipo p como de tipo n. La capa activa o, como se representa en la figura 4, la capa 2616 fotoactiva, está intercalada entre dos capas 2622 y 2624 de electrodos eléctricamente conductores. En la figura 4, la capa 2622 de electrodo es un material de óxido de indio dopado con estaño (ITO). Como se señaló anteriormente, una capa activa de algunas realizaciones no necesariamente tiene que ser fotoactiva, aunque en el dispositivo mostrado en la figura 4, lo es. La capa 2624 de electrodo es un material de aluminio. Se pueden usar otros materiales como se conoce en la técnica. La celda 2610 también incluye una capa 2626 interfacial (IFL), mostrada en el ejemplo de la figura 4 como un material de ZnO. La IFL puede ayudar en la separación de carga. En algunas realizaciones, la IFL 2626 puede comprender un compuesto orgánico según la presente explicación como una monocapa autoensamblada (SAM, por sus siglas en inglés) o como una película delgada. En otras realizaciones, la IFL 2626 puede comprender una IFL multicapa, que se comenta con mayor detalle a continuación. También puede haber una IFL 2627 adyacente al electrodo 2624. En algunas realizaciones, la IFL 2627 adyacente al electrodo 2624 también, o en su lugar, puede comprender un compuesto orgánico según la presente explicación como una monocapa autoensamblada (SAM) o como una película delgada. En otras realizaciones, la IFL 2627 adyacente al electrodo 2624 también, o en su lugar, puede comprender una IFL multicapa (de nuevo, comentado con mayor detalle a continuación). Una IFL según algunas realizaciones puede ser de carácter semiconductor y puede ser de tipo p o de tipo n, o puede ser de carácter dieléctrico. En algunas realizaciones, la IFL en el lado del cátodo del dispositivo (por ejemplo, la IFL 2627 como se muestra en la figura 4) puede ser de tipo p, y la IFL en el lado del ánodo del dispositivo (por ejemplo, la IFL 2626 como se muestra en la figura 4) puede ser de tipo n. En otras realizaciones, sin embargo, la IFL del lado del cátodo puede ser de tipo n y la IFL del lado del ánodo puede ser de tipo p. La celda 2610 está conectada a los cables 2630 y a una unidad 2632 de descarga, como una batería.

Se pueden describir otras realizaciones adicionales con referencia a la figura 3, que representa un diseño de dispositivo BHJ estilizado, e incluye: sustrato 2401 de vidrio; electrodo 2402 de ITO (óxido de indio dopado con estaño); capa 2403 interfacial (IFL); capa 2404 fotoactiva; y cátodos 2405 LiF/Al. Los materiales de construcción BHJ a los que se hace referencia son meros ejemplos; se puede usar cualquier otra construcción BHJ conocida en la técnica consistente con la presente explicación. En algunas realizaciones, la capa 2404 fotoactiva puede comprender uno o más materiales que la capa 2616 activa o fotoactiva del dispositivo de la figura 4 puede comprender.

La figura 1 es una ilustración simplificada de sistemas fotovoltaicos DSSC según algunas realizaciones, a las que se hace referencia aquí con el fin de ilustrar el ensamblaje de dichos sistemas fotovoltaicos de ejemplo. Una DSSC de ejemplo como se muestra en la figura 1 puede construirse según lo siguiente: la capa 1506 de electrodo (mostrada como óxido de estaño dopado con flúor, FTO) se deposita sobre una capa 1507 de sustrato (mostrada como vidrio). La capa ML 1505 mesoporosa (que en algunas realizaciones puede ser  $\text{TiO}_2$ ) se deposita sobre la capa 1506 de electrodo, entonces el fotoelectrodo (que hasta ahora comprende la capa 1507 de sustrato, la capa 1506 de electrodo y la capa 1505 mesoporosa) se empapa en un disolvente (no mostrado) y colorante 1504. Esto deja el colorante 1504 unido a la superficie de la ML. Se hace un contraelectrodo independiente que comprende una capa 1501 de sustrato (que también se muestra como vidrio) y una capa 1502 de electrodo (que se muestra como Pt/FTO). El fotoelectrodo y el contraelectrodo se combinan, intercalando las diversas capas 1502-1506 entre las dos capas 1501 y 1507 de sustrato, como se muestra en la figura 1, y permitiendo que las capas 1502 y 1506 de electrodo se utilicen como cátodo y ánodo, respectivamente. Se deposita una capa de electrolito 1503 directamente sobre el fotoelectrodo terminado después de la capa 1504 de colorante o a través de una abertura en el dispositivo, típicamente un hueco perforado previamente mediante chorro de arena en el sustrato 1501 del contraelectrodo. La celda también puede estar conectada a cables y a una unidad de descarga, como una batería (no mostrada). La capa 1507 de sustrato y la capa 1506 de electrodo, y/o la capa 1501 de sustrato y la capa 1502 de electrodo deben ser de suficiente transparencia para permitir que la radiación solar pase a través del colorante 1504 fotoactivo. En algunas realizaciones, el contraelectrodo y/o el fotoelectrodo pueden ser rígidos, mientras que en otras, uno o ambos pueden ser flexibles. Las capas de sustrato de diversas realizaciones pueden comprender uno o más de los siguientes materiales: vidrio, polietileno, PET, Kapton, cuarzo, papel de aluminio, papel de oro y acero. En ciertas realizaciones, una DSSC puede incluir además una capa 1601 de captación de luz, como se muestra en la figura 2, para dispersar la luz incidente con el fin de aumentar la longitud del recorrido de la luz a través de la capa fotoactiva del dispositivo (aumentando de ese modo la probabilidad de que la luz se absorba en la capa fotoactiva).

En otras realizaciones, la presente explicación proporciona DSSC de estado sólido. Las DSSC de estado sólido según algunas realizaciones pueden proporcionar ventajas tales como la falta de problemas de fugas y/o corrosión que pueden afectar a las DSSC que comprenden electrolitos líquidos. Asimismo, un portador de carga de estado sólido puede proporcionar una física del dispositivo más rápida (por ejemplo, transporte de carga más rápido).  
 5 Adicionalmente, los electrolitos de estado sólido pueden, en algunas realizaciones, ser fotoactivos y, por lo tanto, contribuir a la energía derivada de un dispositivo de DSSC de estado sólido.

Algunos ejemplos de DSSC de estado sólido se pueden describir con referencia a la figura 5, que es un esquema estilizado de una DSSC de estado sólido típica. Al igual que con la celda solar de ejemplo representada, por ejemplo, en la figura 4, una capa activa compuesta de un primer y un segundo material (2810 y 2815, respectivamente) activo (por ejemplo, conductor y/o semiconductor) (se intercala entre los electrodos 2805 y 2820 (mostrados en la figura 5 como Pt/FTO y FTO, respectivamente). En la realización mostrada en la figura 5, el primer material 2810 activo es un material activo de tipo p y comprende un electrolito de estado sólido. En ciertas realizaciones, el primer material 2810 activo puede comprender un material orgánico como Spiro-OMeTAD y/o poli(3-hexiltiofeno), un complejo binario, ternario, cuaternario o mayor inorgánico, cualquier material semiconductor sólido o cualquier combinación de estos.  
 10 En algunas realizaciones, el primer material activo puede comprender adicionalmente, o en su lugar, un óxido y/o un sulfuro, y/o un seleniuro, y/o un yoduro (por ejemplo, CsSnI<sub>3</sub>). Por tanto, por ejemplo, el primer material activo de algunas realizaciones puede comprender material de tipo p en estado sólido, que puede comprender sulfuro de indio y cobre, y en algunas realizaciones, puede comprender seleniuro de galio, indio y cobre. El segundo material 2815 activo que se muestra en la figura 5 es un material activo de tipo n y comprende TiO<sub>2</sub> recubierto con un colorante. En algunas realizaciones, el segundo material activo puede comprender así mismo un material orgánico como Spiro-OMeTAD, un complejo inorgánico binario, ternario, cuaternario o mayor, o cualquier combinación de estos. En algunas realizaciones, el segundo material activo puede comprender un óxido como alúmina, y/o puede comprender un sulfuro, y/o puede comprender un seleniuro. Por tanto, en algunas realizaciones, el segundo material activo puede comprender sulfuro de indio y cobre, y en algunas realizaciones, puede comprender metal seleniuro de galio e indio y cobre. El segundo material 2815 activo de algunas realizaciones puede constituir una capa mesoporosa. Asimismo, además de ser activo, uno o ambos de los materiales 2810 y 2815 activos primero y segundo pueden ser fotoactivos. En otras realizaciones (no mostradas en la figura 5), el segundo material activo puede comprender un electrolito sólido. Es más, en realizaciones en donde uno o ambos de los materiales 2810 y 2815 activos primero y segundo comprenden un electrolito sólido, el dispositivo FV puede carecer de una cantidad efectiva de electrolito líquido. Aunque se muestra y se hace referencia a ella en la figura 5 como de tipo p, una capa de estado sólido (por ejemplo, primer material activo que comprende electrolito sólido) puede, en algunas realizaciones, ser, en cambio, semiconductor de tipo n. En tales realizaciones, entonces, el segundo material activo (por ejemplo, TiO<sub>2</sub> (u otro material mesoporoso) como se muestra en la figura 5) recubierto con un colorante puede ser semiconductor de tipo p (a diferencia del semiconductor de tipo n que se muestra y se analiza con respecto a la figura 5).  
 20  
 25  
 30

Las capas 2801 y 2825 de sustrato (ambas mostradas en la figura 5 como vidrio) forman las respectivas capas externas superior e inferior de la celda de ejemplo de la figura 5. Estas capas pueden comprender cualquier material de suficiente transparencia para permitir que la radiación solar pase a través de la capa activa/fotoactiva que comprende el colorante, el primer y segundo material 2810 y 2815 activo y/o fotoactivo, como vidrio, polietileno, PET, Kapton, cuarzo, papel de aluminio, papel de oro y/o acero. Asimismo, en la realización mostrada en la figura 5, el electrodo 2805 (mostrado como Pt/FTO) es el cátodo y el electrodo 2820 es el ánodo. Al igual que con la celda solar de ejemplo representada en la figura 4, la radiación solar pasa a través de la capa 2825 de sustrato y el electrodo 2820 hacia la capa activa, con lo cual al menos una porción de la radiación solar se absorbe de manera que produce uno o más excitones para permitir la generación eléctrica.  
 35  
 40

Una DSSC de estado sólido según algunas realizaciones puede construirse de una manera sustancialmente similar a la descrita anteriormente con respecto a la DSSC representada como estilizada en la figura 1. En la realización mostrada en la figura 5, el material 2810 activo de tipo p corresponde al electrolito 1503 de la figura 1; el material 2815 activo de tipo n corresponde tanto al colorante 1504 como a la ML 1505 de la figura 1; los electrodos 2805 y 2820 corresponden respectivamente a las capas 1502 y 1506 de electrodo de la figura 1; y las capas 2801 y 2825 de sustrato corresponden respectivamente a las capas 1501 y 1507 de sustrato.  
 45

En diversas realizaciones de la presente explicación se proporcionan mejores materiales y/o diseños en diversos aspectos de celdas solares y otros dispositivos, incluyendo, entre otras cosas, materiales activos (incluyendo capas de transporte de huecos y/o de transporte de electrones), capas interfaciales y diseño general del dispositivo.  
 50

#### Capas interfaciales

La presente explicación, en algunas realizaciones, proporciona materiales y diseños ventajosos de una o más capas interfaciales dentro de un sistema FV, incluyendo IFL de recubrimiento delgado. Las IFL de recubrimiento delgado se pueden emplear en una o más IFL de un sistema FV según diversas realizaciones comentadas en este documento.  
 55

Según diversas realizaciones, los dispositivos pueden incluir opcionalmente una capa interfacial entre cualesquiera otras dos capas y/o materiales, aunque los dispositivos no necesitan contener ninguna capa interfacial. Por ejemplo, un dispositivo de material de perovskita puede contener cero, una, dos, tres, cuatro, cinco o más capas interfaciales (como el dispositivo de ejemplo de la figura 7, que contiene cinco capas 3903, 3905, 3907, 3909 y 3911 interfaciales).  
 60

Una capa interfacial puede incluir cualquier material adecuado para mejorar el transporte y/o la recolección de carga entre dos capas o materiales; también puede ayudar a prevenir o disminuir la probabilidad de recombinación de carga una vez que una carga se ha transportado lejos de uno de los materiales adyacentes a la capa interfacial. Una capa interfacial puede homogeneizar física y eléctricamente de manera adicional sus sustratos para crear variaciones en la rugosidad del sustrato, la constante dieléctrica, la adhesión, la creación o la extinción de defectos (por ejemplo, 5 trampas de carga, estados de superficie). Los materiales interfaciales adecuados pueden incluir uno o más de los siguientes: Al; Bi; Co; Cu; Fe; In; Mn; Mo; Ni; platino (Pt); Si; Sn; Ta; Ti; V; W; Nb; Zn; Zr; óxidos de cualquiera de los metales anteriores (por ejemplo, alúmina, sílice, titanía); un sulfuro de cualquiera de los metales anteriores; un nitruro de cualquiera de los metales anteriores; grupos alquilsililo funcionalizados o no funcionalizados; grafito; grafeno; 10 fulerenos; nanotubos de carbono; cualquier material mesoporoso y/o material interfacial comentado en otra parte del presente documento; y combinaciones de estos (incluidas, en algunas realizaciones, bicapas de materiales combinados). En algunas realizaciones, una capa interfacial puede incluir material de perovskita. Además, las capas interfaciales pueden comprender realizaciones dopadas de cualquier material interfacial mencionado en el presente documento (por ejemplo, ZnO dopado con Y, nanotubos de carbono de pared simple dopados con N).

En primer lugar, como se señaló anteriormente, una o más IFL (por ejemplo, una o ambas IFL 2626 y 2627 como se muestra en la figura 4) pueden comprender un compuesto orgánico fotoactivo de la presente explicación como una monocapa autoensamblada (SAM) o como una película delgada. Cuando un compuesto orgánico fotoactivo de la presente explicación se aplica como una SAM, puede comprender un grupo de unión a través del cual puede unirse covalentemente o de otro modo a la superficie de uno o ambos del ánodo y el cátodo. El grupo de unión de algunas realizaciones puede comprender uno o más de COOH, SiX<sub>3</sub> (donde X puede ser cualquier resto adecuado para formar un compuesto de silicio ternario, como Si(OR)<sub>3</sub> y SiCl<sub>3</sub>), SO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>H, OH, CH<sub>2</sub>X (donde X puede comprender un haluro del Grupo 17) y O. El grupo de unión puede estar unido covalentemente o de otro modo a un resto que atrae electrones, un resto donador de electrones y/o un resto central. El grupo de unión puede conectarse a la superficie del electrodo de una manera tal que forme una capa direccional y organizada de una sola molécula (o, en algunas realizaciones, 25 múltiples moléculas) en espesor (por ejemplo, donde múltiples compuestos orgánicos fotoactivos están unidos al ánodo y/o cátodo). Como se ha indicado, la SAM puede conectarse a través de interacciones covalentes, pero en algunas realizaciones puede conectarse a través de interacciones iónicas, de unión por puentes de hidrógeno y/o de fuerza de dispersión (es decir, Van Der Waals). Asimismo, en ciertas realizaciones, tras la exposición a la luz, la SAM puede entrar en un estado excitado zwitteriónico, creando de ese modo una IFL altamente polarizada, que puede dirigir portadores de carga desde una capa activa hacia un electrodo (por ejemplo, el ánodo o el cátodo). Esta inyección mejor de portadores de carga puede, en algunas realizaciones, lograrse polarizando electrónicamente la sección transversal de la capa activa y, por lo tanto, aumentando las velocidades de deriva de los portadores de carga hacia su electrodo respectivo (por ejemplo, del hueco al ánodo; de los electrones al cátodo). Las moléculas para aplicaciones de ánodo de algunas realizaciones pueden comprender compuestos ajustables que incluyan un resto donador de electrones primario unido a un resto central, que a su vez esté unido a un resto que atraiga electrones, que a su vez esté unido a un grupo de unión. En aplicaciones de cátodo según algunas realizaciones, las moléculas de IFL pueden comprender un compuesto ajustable que comprenda un resto pobre en electrones unido a un resto central, que a su vez esté unido a un resto donador de electrones, que a su vez esté unido a un grupo de unión. Cuando se emplea un compuesto orgánico fotoactivo como una IFL según dichas realizaciones, puede conservar el carácter fotoactivo, 40 aunque en algunas realizaciones no necesita ser fotoactivo.

Además, o en lugar, de un compuesto orgánico fotoactivo SAM IFL, un sistema FV según algunas realizaciones puede incluir una capa interfacial delgada (una «capa interfacial de recubrimiento delgado» o «IFL de recubrimiento delgado») recubierta sobre al menos una porción del primer o segundo material activo de dichas realizaciones (por ejemplo, primer o segundo material 2810 o 2815 activo, como se muestra en la figura 5). Y, a su vez, al menos una porción de la IFL de recubrimiento delgado puede estar recubierta con un colorante. La IFL de recubrimiento delgado puede ser de tipo n o p; en algunas realizaciones, puede ser del mismo tipo que el material subyacente (por ejemplo, TiO<sub>2</sub> u otro material mesoporoso, como TiO<sub>2</sub> del segundo material 2815 activo). El segundo material activo puede comprender TiO<sub>2</sub> recubierto con una IFL de recubrimiento delgado que comprende alúmina (por ejemplo, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (no se muestra en la figura 5), que a su vez está recubierto con un colorante. Las referencias en el presente documento a TiO<sub>2</sub> y/o titanía no limitan las proporciones de estaño y óxido en dichos compuestos de óxido de estaño descritos en el presente documento. Esto es, un compuesto de titanía puede comprender titanio en uno o más cualesquiera de sus diversos estados de oxidación (por ejemplo, titanio I, titanio II, titanio III, titanio IV) y, por tanto, diversas realizaciones pueden incluir cantidades estequiométricas y/o no estequiométricas de titanio y óxido. Por tanto, diversas realizaciones pueden incluir (en lugar de, o además de, TiO<sub>2</sub>) Ti<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, donde x puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre 1 y 100. 55 En algunas realizaciones, x puede estar entre alrededor de 0,5 y 3. Así mismo, y puede estar entre alrededor de 1,5 y 4 (y, nuevamente, no se necesita que sea un número entero). Por tanto, algunas realizaciones pueden incluir, por ejemplo, TiO<sub>2</sub> y/o Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Es más, la titanía en cualquier proporción o combinación de proporciones entre titanio y óxido puede ser de una o más estructuras cristalinas en algunas realizaciones, incluyendo una o más de las siguientes: anatasa, rutilo y amorfo.

Otros óxidos metálicos de ejemplo para su uso en la IFL de recubrimiento delgado de algunas realizaciones pueden incluir óxidos metálicos semiconductores, tales como NiO, WO<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o MoO<sub>3</sub>. La realización en donde el segundo material activo (por ejemplo, de tipo n) comprende TiO<sub>2</sub> recubierto con una IFL de recubrimiento delgado que comprende Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> podría formarse, por ejemplo, con un material precursor tal como Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>•xH<sub>2</sub>O, o cualquier otro

material adecuado para depositar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sobre el  $\text{TiO}_2$ , seguido de recocido térmico y recubrimiento con colorante. En realizaciones de ejemplo en donde en su lugar se usa un recubrimiento de  $\text{MoO}_3$ , el recubrimiento puede formarse con un material precursor tal como  $\text{Na}_2\text{Mo}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; mientras que un recubrimiento de  $\text{V}_2\text{O}_5$  según algunas realizaciones puede formarse con un material precursor tal como  $\text{NaVO}_3$ ; y un recubrimiento de  $\text{WO}_3$  según algunas realizaciones puede formarse con un material precursor tal como  $\text{NaWO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . La concentración de material precursor (por ejemplo,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) puede afectar el espesor de la película final (aquí, de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) depositada sobre el  $\text{TiO}_2$  u otro material activo. Por tanto, modificar la concentración de material precursor puede ser un método mediante el cual se puede controlar el espesor de la película final. Por ejemplo, un mayor espesor de la película puede resultar de una mayor concentración de material precursor. Un mayor espesor de la película puede no resultar necesariamente en un mayor PCE en un dispositivo fotovoltaico que comprenda un recubrimiento de óxido metálico. Por tanto, un método de algunas realizaciones puede incluir recubrir una capa de  $\text{TiO}_2$  (u otro mesoporoso) usando un material precursor que tenga una concentración en el intervalo de alrededor de 0,5 M a 10,0 mM; otras realizaciones pueden incluir recubrir la capa con un material precursor que tenga una concentración en el intervalo de alrededor de 2,0 mM a 6,0 mM; o, en otras realizaciones, alrededor de 2,5 mM a 5,5 mM.

Asimismo, aunque en el presente documento se hace referencia a ellos como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y/o alúmina, debe observarse que se pueden usar diversas proporciones de aluminio y oxígeno para formar alúmina. Por tanto, aunque algunas realizaciones analizadas en el presente documento se describen con referencia a  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dicha descripción no define una proporción requerida de aluminio en oxígeno. En cambio, las realizaciones pueden incluir uno o más compuestos de óxido de aluminio, cada uno con una proporción de óxido de aluminio según  $\text{Al}_x\text{O}_y$ , donde x puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre alrededor de 1 y 100. En algunas realizaciones, x puede estar entre alrededor de 1 y 3 (y, de nuevo, no es necesario que sea un número entero). Así mismo, y puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre 0,1 y 100. En algunas realizaciones, y puede estar entre 2 y 4 (y, de nuevo, no se necesita que sea un número entero). Es más, pueden estar presentes diversas formas cristalinas de  $\text{Al}_x\text{O}_y$  en diversas realizaciones, tales como formas alfa, gamma y/o amorfas de alúmina.

Así mismo, aunque se hace referencia a ellos en el presente documento como  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$  y  $\text{V}_2\text{O}_5$ , dichos compuestos pueden representarse en su lugar, o además, como  $\text{Mo}_x\text{O}_y$ ,  $\text{W}_x\text{O}_y$  y  $\text{V}_x\text{O}_y$ , respectivamente. Con respecto a cada uno de  $\text{Mo}_x\text{O}_y$  y  $\text{W}_x\text{O}_y$ , x puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre alrededor de 0,5 y 100; en algunas realizaciones, puede ser entre alrededor de 0,5 y 1,5. Así mismo, y puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre alrededor de 1 y 100. En algunas realizaciones, y puede ser cualquier valor entre alrededor de 1 y 4. Con respecto a  $\text{V}_x\text{O}_y$ , x puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre alrededor de 0,5 y 100; en algunas realizaciones, puede ser entre alrededor de 0,5 y 1,5. Así mismo, y puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre alrededor de 1 y 100; en ciertas realizaciones, puede ser un valor entero o no entero entre alrededor de 1 y 10.

De manera similar, las referencias en algunas realizaciones ilustrativas de la presente memoria a  $\text{CsSnI}_3$  no limitan las proporciones de los elementos componentes en los compuestos de cesio, estaño y yodo según varias realizaciones. Algunas realizaciones pueden incluir cantidades estequiométricas y/o no estequiométricas de estaño y yoduro, y por tanto, dichas realizaciones pueden incluir en su lugar, o además de ello, varias proporciones de cesio, estaño y yodo, tales como uno o más compuestos de cesio, estaño y yodo, cada uno con una proporción de  $\text{Cs}_x\text{Sn}_y\text{I}_z$ . En dichas realizaciones, x puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre 0,1 y 100. En algunas realizaciones, x puede estar entre alrededor de 0,5 y 1,5 (y, nuevamente, no es necesario que sea un número entero). Así mismo, y puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre 0,1 y 100. En algunas realizaciones, y puede estar entre alrededor de 0,5 y 1,5 (y, de nuevo, no es necesario que sea un número entero). Así mismo, z puede ser cualquier valor, entero o no entero, entre 0,1 y 100. En algunas realizaciones, z puede estar entre alrededor de 2,5 y 3,5. Adicionalmente,  $\text{CsSnI}_3$  puede estar dopado o compuesto con otros materiales, como  $\text{SnF}_2$ , en proporciones de  $\text{CsSnI}_3:\text{SnF}_2$  de 0,1:1 a 100:1, incluidos todos los valores (enteros y no enteros) intermedios.

Es más, una IFL de recubrimiento delgado puede comprender una bicapa. Por tanto, volviendo al ejemplo en donde la IFL de recubrimiento delgado comprende un óxido metálico (como alúmina), la IFL de recubrimiento delgado puede comprender  $\text{TiO}_2$  más óxido metálico. Una IFL de recubrimiento delgado de este tipo puede tener una mayor capacidad para resistir la recombinación de carga en comparación con el  $\text{TiO}_2$  mesoporoso u otro material activo solo. Asimismo, al formar una capa de  $\text{TiO}_2$ , a menudo es necesario un recubrimiento secundario de  $\text{TiO}_2$  para proporcionar una interconexión física suficiente de partículas de  $\text{TiO}_2$ , según algunas realizaciones de la presente explicación. El recubrimiento de una IFL de recubrimiento delgado bicapa sobre  $\text{TiO}_2$  mesoporoso (u otro material activo mesoporoso) puede comprender una combinación de recubrimiento en que se usa un compuesto que comprende tanto óxido metálico como  $\text{TiCl}_4$ , lo que da como resultado una IFL de recubrimiento delgado bicapa que comprende una combinación de óxido metálico y recubrimiento secundario de  $\text{TiO}_2$ , que puede proporcionar mejoras de rendimiento con respecto al uso de cualquiera de los materiales por sí solo.

En algunas realizaciones, la IFL puede comprender un titanato. Un titanato según algunas realizaciones puede tener la fórmula general  $\text{M}'\text{TiO}_3$ , donde: M' comprende cualquier catión 2+. En algunas realizaciones, M' puede comprender una forma catiónica de Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ni, Zn, Cd, Hg, Cu, Pd, Pt, Sn o Pb. En algunas realizaciones, la IFL puede comprender una única especie de titanato, que en otras realizaciones, la IFL puede comprender dos o más especies diferentes de titanatos. En una realización, el titanato tiene la fórmula  $\text{SrTiO}_3$ . En otra realización, el titanato puede tener la fórmula  $\text{BaTiO}_3$ . En otra realización más, el titanato puede tener la fórmula  $\text{CaTiO}_3$ .

A modo de aclaración, y sin que ello suponga ninguna limitación, los titanatos tienen una estructura cristalina de perovskita y favorecen fuertemente el procedimiento de crecimiento y conversión de MAPbI<sub>3</sub>. Los titanatos generalmente también cumplen otros requisitos de IFL, como comportamiento ferroeléctrico, suficiente movilidad de los portadores de carga, transparencia óptica, niveles de energía adaptados y constante dieléctrica alta.

5 Cualquier material de interfaz comentado en el presente documento puede comprender además composiciones dopadas. Para modificar las características (por ejemplo, eléctricas, ópticas, mecánicas) de un material de interfaz, un material estequiométrico o no estequiométrico puede doparse con uno o más elementos (por ejemplo, Na, Y, Mg, N, P) en cantidades desde tan solo 1 ppb hasta el 50 % en moles. Algunos ejemplos de materiales de interfaz incluyen: NiO, TiO<sub>2</sub>, SrTiO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, WO<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MO<sub>3</sub>, ZnO, grafeno y negro de carbono. Entre los ejemplos de posibles dopantes para estos materiales interfaciales se incluyen: Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, Nb, Ti, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Sn, In, B, N, P, C, S, As, un haluro, un pseudohaluro (por ejemplo, cianuro, cianato, isocianato, fulminato, tiocianato, isotiocianato, azida, tetracarbonilcobaltato, carbamoildicianometanida, dicianonitrosometanida, dicianamida y triclanometanida) y Al en cualquiera de sus estados de oxidación. Las referencias en este documento a materiales interfaciales dopados no tienen por objeto limitar las proporciones de los elementos componentes en los compuestos de materiales interfaciales.

La figura 10 es un diagrama estilizado de un dispositivo 4400 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque varios componentes del dispositivo 4400 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 10 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 4400 incluye un primer y un segundo sustrato 4401 y 4407. Un primer electrodo (ITO) 4402 está dispuesto sobre una superficie interior del primer sustrato 4401, y un segundo electrodo (Ag) 4406 está dispuesto sobre una superficie interior del segundo sustrato 4407. Una capa 4450 activa está intercalada entre los dos electrodos 4402 y 4406. La capa 4450 activa incluye una primera IFL 4403 (por ejemplo, SrTiO<sub>3</sub>), un material 4404 fotoactivo (por ejemplo, MAPbI<sub>3</sub>), y una capa 4405 de transporte de carga (por ejemplo, Spiro-OMeTAD).

Las IFL de recubrimiento delgado y los métodos para recubrirlas sobre TiO<sub>2</sub> que se han comentado previamente pueden emplearse, en algunas realizaciones, en DSSC que comprenden electrolitos líquidos. Por tanto, volviendo al ejemplo de una IFL de recubrimiento delgado y haciendo referencia nuevamente a la figura 1 para un ejemplo, la DSSC de la figura 1 podría comprender además una IFL de recubrimiento delgado como la descrita anteriormente recubierta sobre la capa 1505 mesoporosa (esto es, la IFL de recubrimiento delgado se insertaría entre la capa 1505 mesoporosa y el colorante 1504).

En una realización, se puede formular un dispositivo de material de perovskita vertiendo Pbl<sub>2</sub> sobre un sustrato de ITO recubierto con SrTiO<sub>3</sub>. El Pbl<sub>2</sub> se puede convertir en MAPbI<sub>3</sub> mediante un procedimiento de inmersión. Este procedimiento se describe con mayor detalle a continuación. Este procedimiento de conversión es más completo (como se observa mediante espectroscopia óptica) en comparación con la preparación del sustrato sin SrTiO<sub>3</sub>.

En algunas realizaciones, las IFL de recubrimiento delgado comentadas previamente en el contexto de DSSC se pueden usar en cualquier capa interfacial de un dispositivo semiconductor tal como un sistema FV (por ejemplo, un sistema FV híbrido u otro FV), transistor de efecto de campo, diodo emisor de luz, dispositivo óptico no lineal, memristor, capacitor, rectificador, antena rectificadora, etc. Asimismo, las IFL de recubrimiento delgado de algunas realizaciones se pueden emplear en cualquiera de varios dispositivos en combinación con otros compuestos comentados en la presente explicación, incluyendo, sin limitación, uno o más de los siguientes de diversas realizaciones de la presente explicación: material de transporte de huecos sólido tal como material activo y aditivos (tales como, en algunas realizaciones, ácido quenodesoxicólico o 1,8-diyodooctano).

En algunas realizaciones, se pueden disponer múltiples IFL hechas a partir de diferentes materiales adyacentes entre sí para formar una IFL compuesta. Esta configuración puede implicar dos IFL diferentes, tres IFL diferentes o incluso un número mayor de IFL diferentes. La IFL multicapa resultante o la IFL compuesta se puede usar en vez de una IFL de un solo material. Por ejemplo, se puede usar una IFL compuesta como IFL 2626 y/o como IFL 2627 en la celda 2610, como se muestra en el ejemplo de la figura 4. Si bien la IFL compuesta difiere de una IFL de un solo material, el ensamblaje de una celda fotovoltaica de material de perovskita que tiene IFL multicapa no es sustancialmente diferente del ensamblaje de una celda fotovoltaica de material de perovskita que tiene solo IFL de un solo material.

En general, la IFL compuesta puede hacerse usando cualquiera de los materiales comentados en el presente documento como adecuados para una IFL. En una realización, la IFL comprende una capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y una capa de ZnO o M:ZnO (ZnO dopado, por ejemplo, Be:ZnO, Mg:ZnO, Ca:ZnO, Sr:ZnO, Ba:ZnO, Sc:ZnO, Y:ZnO, Nb:ZnO). En una realización, la IFL comprende una capa de ZrO<sub>2</sub> y una capa de ZnO o M:ZnO. En ciertas realizaciones, la IFL comprende múltiples capas. En algunas realizaciones, una IFL multicapa generalmente tiene una capa conductora, una capa dieléctrica y una capa semiconductor. En realizaciones particulares, las capas pueden repetirse, por ejemplo, una capa conductora, una capa dieléctrica, una capa semiconductor, una capa dieléctrica y una capa semiconductor. Los ejemplos de IFL multicapa incluyen una IFL que tiene una capa de ITO, una capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, una capa de ZnO y una segunda capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; una IFL que tiene una capa de ITO, una capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, una capa de ZnO,

una segunda capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y una segunda capa de  $\text{ZnO}$ ; una IFL que tiene una capa de ITO, una capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , una capa de  $\text{ZnO}$ , una segunda capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , una segunda capa de  $\text{ZnO}$  y una tercera capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; e IFL que tiene tantas capas como sean necesarias para lograr las características de rendimiento deseadas. Como se ha comentado previamente, las referencias a determinadas proporciones estequiométricas no limitan las proporciones de los elementos componentes en las capas de IFL según diversas realizaciones.

La disposición de dos o más IFL adyacentes como una IFL compuesta puede superar a una única IFL en celdas fotovoltaicas de material de perovskita, donde los atributos de cada material de IFL pueden aprovecharse en una única IFL. Por ejemplo, en la arquitectura que tiene una capa de ITO, una capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y una capa de  $\text{ZnO}$ , donde ITO es un electrodo conductor,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es un material dieléctrico y  $\text{ZnO}$  es un semiconductor de tipo n,  $\text{ZnO}$  actúa como un aceptor de electrones con propiedades de transporte de electrones de buen rendimiento (por ejemplo, movilidad). Adicionalmente, el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es un material físicamente robusto que se adhiere bien al ITO, homogeneiza la superficie tapando los defectos de la superficie (por ejemplo, trampas de carga) y mejora las características del diodo del dispositivo mediante la supresión de la corriente oscura.

La figura 11 es un diagrama estilizado de un dispositivo 4500 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes del dispositivo 4500 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 11 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, consistentes con el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 4500 incluye un primer y un segundo sustrato 4501 y 4508. Un primer electrodo (por ejemplo, ITO) 4502 está dispuesto sobre una superficie interior del primer sustrato 4501, y un segundo electrodo (por ejemplo, Ag) 4507 está dispuesto sobre una superficie interior del segundo sustrato 4508. Una capa 4550 activa está intercalada entre los dos electrodos 4502 y 4507. La capa 4550 activa incluye una IFL compuesta que comprende una primera IFL (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 4503 y una segunda IFL (por ejemplo,  $\text{ZnO}$ ) 4504, un material 4505 fotoactivo (por ejemplo,  $\text{MAPbI}_3$ ), y una capa 4506 de transporte de carga (por ejemplo, Spiro-OMeTAD).

Las figuras 13-20 son diagramas estilizados de dispositivos de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes de los dispositivos se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que las figuras 13-18 son diagramas estilizados; por tanto, las realizaciones según ellas pueden incluir dichas capas discretas, y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, consistentes con el uso de «capas» comentado previamente en este documento. Los dispositivos de ejemplo incluyen capas y materiales descritos a lo largo de esta explicación. Los dispositivos pueden incluir una capa de sustrato (por ejemplo, vidrio), capas de electrodos (por ejemplo, ITO, Ag), capas interfaciales, que pueden ser IFL compuestas (por ejemplo,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y:ZnO}$  y/o  $\text{Nb:ZnO}$ ), un material fotoactivo (por ejemplo,  $\text{MAPbI}_3$ ,  $\text{FAPbI}_3$ , 5-AVA•HCl:  $\text{MAPbI}_3$  y/o  $\text{CHP: MAPbI}_3$ ) y una capa de transporte de carga (por ejemplo, Spiro-OMeTAD, PCDTBT, TFB, TPD, PTB7, F8BT, PPV, MDMO-PPV, MEH-PPV y/o P3HT).

La figura 13 es un diagrama estilizado de un dispositivo 6100 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes del dispositivo 6100 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 13 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 6100 incluye un sustrato (por ejemplo, vidrio) 6101. Un primer electrodo (por ejemplo, ITO) 6102 está dispuesto sobre una superficie interna del sustrato 6101, y un segundo electrodo (por ejemplo, Ag) 6107 está dispuesto sobre la parte superior de una capa 6150 activa que está intercalada entre los dos electrodos 6102 y 6107. La capa 6150 activa incluye una IFL compuesta que comprende una primera IFL (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 6103 y una segunda IFL (por ejemplo,  $\text{ZnO}$ ) 6104, un material 6105 fotoactivo (por ejemplo,  $\text{MAPbI}_3$ ), y una capa 6106 de transporte de carga (por ejemplo, Spiro-OMeTAD).

La figura 14 es un diagrama estilizado de un dispositivo 6200 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes del dispositivo 6200 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 14 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 6200 incluye un sustrato (por ejemplo, vidrio) 6201. Un primer electrodo (por ejemplo, ITO) 6202 está dispuesto sobre una superficie interna del sustrato 6201, y un segundo electrodo (por ejemplo, Ag) 6206 está dispuesto sobre la parte superior de una capa 6250 activa que está intercalada entre los dos electrodos 6202 y 6206. La capa 6250 activa incluye una IFL (por ejemplo,  $\text{Y:ZnO}$ ) 6203, un material 6204 fotoactivo (por ejemplo,  $\text{MAPbI}_3$ ), y una capa 6205 de transporte de carga (por ejemplo, P3HT).

La figura 15 es un diagrama estilizado de un dispositivo 6300 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes del dispositivo 6300 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 15 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 6300 incluye un sustrato (por ejemplo, vidrio) 6301. Un primer electrodo (por ejemplo, ITO) 6302 está dispuesto sobre una superficie interna del sustrato 6301, y un segundo electrodo (por ejemplo, Ag) 6309 está dispuesto sobre la parte superior de una capa 6350 activa que está intercalada entre los dos electrodos 6302 y 6309. La capa 6350 activa incluye una IFL compuesta que comprende una primera

IFL (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 6303, una segunda IFL (por ejemplo,  $\text{ZnO}$ ) 6304, una tercera IFL (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 6305 y una cuarta IFL (por ejemplo,  $\text{ZnO}$ ) 6306, un material 6307 fotoactivo (por ejemplo,  $\text{MAPbI}_3$ ) y una capa 6308 de transporte de carga (por ejemplo, PCDTBT).

5 La figura 16 es un diagrama estilizado de un dispositivo 6400 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes del dispositivo 6400 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 16 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 6400 incluye un sustrato (por ejemplo, vidrio) 6401. Un primer electrodo (por ejemplo, ITO) 6402 está dispuesto sobre una superficie interna del sustrato 6401, y un segundo electrodo (por ejemplo, Ag) 6409 está dispuesto sobre la parte superior de una capa 6450 activa que está intercalada entre los dos electrodos 6402 y 6409. La capa 6450 activa incluye una IFL compuesta que comprende una primera IFL (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 6403, una segunda IFL (por ejemplo,  $\text{ZnO}$ ) 6404, una tercera IFL (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 6405 y una cuarta IFL (por ejemplo,  $\text{ZnO}$ ) 6406, un material 6407 fotoactivo (por ejemplo, 5-AVA-HCL:MAPbI<sub>3</sub>) y una capa 6408 de transporte de carga (por ejemplo, PCDTBT).

15 La figura 17 es un diagrama estilizado de un dispositivo 6500 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes del dispositivo 6500 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 17 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 6500 incluye un sustrato (por ejemplo, vidrio) 6501. Un primer electrodo (por ejemplo, ITO) 6502 está dispuesto sobre una superficie interior del sustrato 6501, y un segundo electrodo (por ejemplo, Ag) 6506 está dispuesto sobre la parte superior de una capa 6550 activa que está intercalada entre los dos electrodos 6502 y 6506. La capa 6550 activa incluye una IFL (por ejemplo,  $\text{Nb:ZnO}$ ) 6503, un material fotoactivo (por ejemplo,  $\text{FAPbI}_3$ ) 6504, y una capa 6505 de transporte de carga (por ejemplo, P3HT).

25 La figura 18 es un diagrama estilizado de un dispositivo 6600 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes del dispositivo 6600 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 18 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 6600 incluye un sustrato (por ejemplo, vidrio) 6601. Un primer electrodo (por ejemplo, ITO) 6602 está dispuesto sobre una superficie interior del sustrato 6601, y un segundo electrodo (por ejemplo, Ag) 6606 está dispuesto sobre la parte superior de una capa 6650 activa que está intercalada entre los dos electrodos 6602 y 6606. La capa 6650 activa incluye una IFL (por ejemplo,  $\text{Y:ZnO}$ ) 6603, un material fotoactivo (por ejemplo,  $\text{CHP:MAPbI}_3$ ), y una capa 6605 de transporte de carga (por ejemplo, P3HT).

30 La figura 19 es un diagrama estilizado de un dispositivo 6700 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes del dispositivo 6700 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 19 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas no contiguas, sustancialmente entremezcladas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 6700 incluye un sustrato (por ejemplo, vidrio) 6701. Un primer electrodo (por ejemplo, ITO) 6702 está dispuesto sobre una superficie interior del sustrato 6701, y un segundo electrodo (por ejemplo, Al) 6707 está dispuesto sobre una capa 6750 activa que está intercalada entre los dos electrodos 6702 y 6707. La capa 6750 activa incluye una IFL (por ejemplo,  $\text{SrTiO}_3$ ) 6703, un material 6704 fotoactivo (por ejemplo,  $\text{FAPbI}_3$ ), una primera capa 6705 de transporte de carga (por ejemplo, P3HT), y una segunda capa 6706 de transporte de carga (por ejemplo,  $\text{MoO}_x$ ).

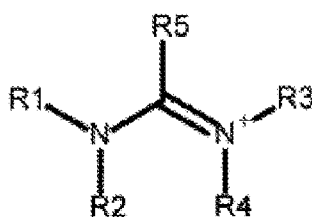
35 La figura 20 es un diagrama estilizado de un dispositivo 6800 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque diversos componentes del dispositivo 6800 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 16 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas sustancialmente entremezcladas, no contiguas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 6800 incluye un sustrato (por ejemplo, vidrio) 6801. Un primer electrodo (por ejemplo, ITO) 6802 está dispuesto sobre una superficie interior del sustrato 6801, y un segundo electrodo (por ejemplo, Al) 6811 está dispuesto sobre una capa 6850 activa que está intercalada entre los dos electrodos 6802 y 6811. La capa 6850 activa incluye una IFL compuesta que comprende una primera IFL (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 6803, una segunda IFL (por ejemplo,  $\text{ZnO}$ ) 6804, una tercera IFL (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 6805, una cuarta IFL (por ejemplo,  $\text{ZnO}$ ) 6806 y una quinta IFL (por ejemplo,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 6807, un material 6808 fotoactivo (por ejemplo,  $\text{FAPbI}_3$ ), una primera capa 6809 de transporte de carga (por ejemplo, P3HT) y una segunda capa 6810 de transporte de carga (por ejemplo,  $\text{MoO}_x$ ).

55 Material de perovskita

Un material de perovskita puede incorporarse en uno o más aspectos diversos de un dispositivo fotovoltaico u otro dispositivo. Un material de perovskita según algunas realizaciones puede tener la fórmula general  $\text{CMX}_3$ , donde: C comprende uno o más cationes (por ejemplo, una amina, amonio, un metal del Grupo 1, un metal del Grupo 2 y/u otros cationes o compuestos similares a cationes); M comprende uno o más metales (ejemplos incluidos Fe, Co, Ni, Cu, Sn,

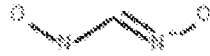
Pb, Bi, Ge, Ti y Zr); y X comprende uno o más aniones. En algunas realizaciones, C puede incluir uno o más cationes orgánicos.

- 5 En ciertas realizaciones, C puede incluir un amonio, un catión orgánico de la fórmula general  $[NR_4]^+$  donde los grupos R pueden ser los mismos o diferentes grupos. Los grupos R adecuados incluyen, entre otros: grupo metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo o isómero de este; cualquier alcano, alqueno o alquino  $C_xH_y$ , donde  $x = 1 - 20$ ,  $y = 1 - 42$ , cíclico, ramificado o de cadena lineal; haluros de alquilo,  $C_xH_yX_z$ ,  $x = 1 - 20$ ,  $y = 0 - 42$ ,  $z = 1 - 42$ ,  $X = F, Cl, Br$  o  $I$ ; cualquier grupo aromático (por ejemplo, fenilo, alquilfenilo, alcoxifenilo, piridina, naftaleno); complejos cíclicos donde al menos un nitrógeno está contenido en el anillo (por ejemplo, piridina, pirrol, pirrolidina, piperidina, tetrahydroquinolina); cualquier grupo que contenga azufre (por ejemplo, sulfóxido, tiol, sulfuro de alquilo); cualquier grupo que contenga nitrógeno (nitróxido, amina); cualquier grupo que contenga fósforo (fosfato); cualquier grupo que contenga boro (por ejemplo, ácido borónico); cualquier ácido orgánico (por ejemplo, ácido acético, ácido propanoico); y derivados de éster o amida de estos; cualquier aminoácido (por ejemplo, glicina, cisteína, prolina, ácido glutámico, arginina, serina, histidina, ácido 5-amoniovalérico) incluyendo derivados alfa, beta, gamma y superiores; cualquier grupo que contenga silicio (por ejemplo, siloxano); y cualquier alcoxi o grupo,  $-OC_xH_y$ , donde  $x = 0 - 20$ ,  $y = 1 - 42$ .
- 10
- 15 En ciertas realizaciones, C puede incluir un formamidinio, un catión orgánico de la fórmula general  $[R_2NCRNR_2]^+$  donde los grupos R pueden ser los mismos o diferentes grupos. Los grupos R adecuados incluyen, entre otros: hidrógeno, grupo metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo o isómero de este; cualquier alcano, alqueno o alquino  $C_xH_y$ , donde  $x = 1 - 20$ ,  $y = 1 - 42$ , cíclico, ramificado o de cadena lineal; haluros de alquilo,  $C_xH_yX_z$ ,  $x = 1 - 20$ ,  $y = 0 - 42$ ,  $z = 1 - 42$ ,  $X = F, Cl, Br$  o  $I$ ; cualquier grupo aromático (por ejemplo, fenilo, alquilfenilo, alcoxifenilo, piridina, naftaleno); complejos cíclicos donde al menos un nitrógeno está contenido en el anillo (por ejemplo, imidazol, benzimidazol, dihidropirimidina, (azolidinilidenometil)pirrolidina, triazol); cualquier grupo que contenga azufre (por ejemplo, sulfóxido, tiol, sulfuro de alquilo); cualquier grupo que contenga nitrógeno (nitróxido, amina); cualquier grupo que contenga fósforo (fosfato); cualquier grupo que contenga boro (por ejemplo, ácido borónico); cualquier ácido orgánico (ácido acético, ácido propanoico) y derivados de éster o amida de este; cualquier aminoácido (por ejemplo, glicina, cisteína, prolina, ácido glutámico, arginina, serina, histidina, ácido 5-amoniovalérico) incluyendo derivados alfa, beta, gamma y superiores; cualquier grupo que contenga silicio (por ejemplo, siloxano); y cualquier alcoxi o grupo,  $-OC_xH_y$ , donde  $x = 0 - 20$ ,  $y = 1 - 42$ .
- 20
- 25

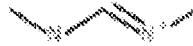


Fórmula 1

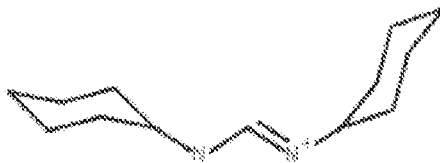
- 30 La fórmula 1 ilustra la estructura de un catión formamidinio que tiene la fórmula general de  $[R_2NCRNR_2]^+$  como se describió anteriormente. La fórmula 2 ilustra estructuras de ejemplo de diversos cationes formamidinio que pueden servir como un catión «C» en un material de perovskita.



Hidroxi-[(hidroxiamino)metilen]amonio



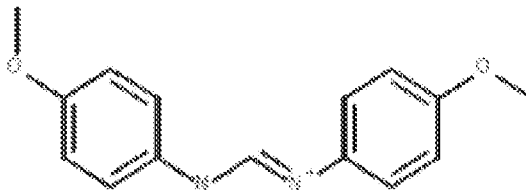
Metil(metilaminometilen)amonio



Ciclohexil-[(ciclohexilamino)metilen]amonio



Anilinetilen(fenil)amonio



(Metoxianilino)metilen-(4-metoxifenil)amonio

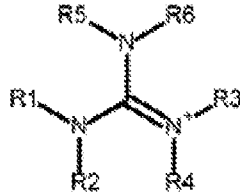


Tienil-[(2-tienilamino)metilen]amonio

### Fórmula 2

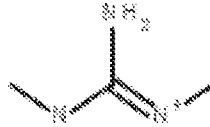
En ciertas realizaciones, C puede incluir un guanidinio, un catión orgánico de la fórmula general  $[(R_2N)_2C=NR_2]^+$  donde los grupos R pueden ser los mismos o diferentes grupos. Los grupos R adecuados incluyen, entre otros: hidrógeno, grupo metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo o isómero de este; cualquier alcano, alqueno o alquino  $C_xH_y$ , donde  $x = 1 - 20$ ,  $y = 1 - 42$ , cíclico, ramificado o de cadena lineal; haluros de alquilo,  $C_xH_yX_z$ ,  $x = 1 - 20$ ,  $y = 0 - 42$ ,  $z = 1 - 42$ ,  $X = F, Cl, Br$  o  $I$ ; cualquier grupo aromático (por ejemplo, fenilo, alquilfenilo, alcoxfenilo, piridina, naftaleno); complejos cíclicos donde al menos un nitrógeno está contenido en el anillo (por ejemplo, octahidropirimido[1,2-a]pirimidina, pirimido[1,2-a]pirimidina, hexahidroimidazo[1,2-a]imidazol, hexahidropirimidin-2-imina); cualquier grupo que contenga azufre (por ejemplo, sulfóxido, tiol, sulfuro de alquilo); cualquier grupo que contenga nitrógeno (nitróxido, amina); cualquier grupo que contenga fósforo (fosfato); cualquier grupo que contenga boro (por ejemplo, ácido borónico); cualquier ácido orgánico (ácido acético, ácido propanoico) y derivados de éster o amida de este; cualquier aminoácido (por ejemplo,

glicina, cisteína, prolina, ácido glutámico, arginina, serina, histidinina, ácido 5-amoniovalérico) incluyendo derivados alfa, beta, gamma y superiores; cualquier grupo que contenga silicio (por ejemplo, siloxano); y cualquier alcoxi o grupo,  $-OC_xH_y$ , donde  $x = 0 - 20$ ,  $y = 1 - 42$ .

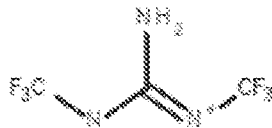


Fórmula 3

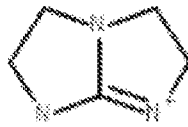
- 5 La fórmula 3 ilustra la estructura de un catión guanidinio que tiene la fórmula general  $[(R_2N)_2C=NR_2]^+$  como se describió anteriormente. La fórmula 4 ilustra ejemplos de estructuras de diversos cationes guanidinio que pueden servir como un catión «C» en un material de perovskita.



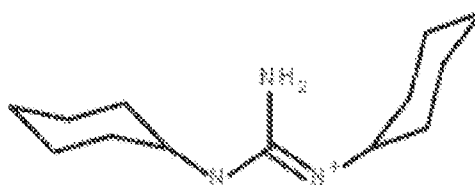
[Amino(metilamino)metilén]-metil-amonio



[Amino(trifluorometilamino)metilén]-(trifluorometil)amonio



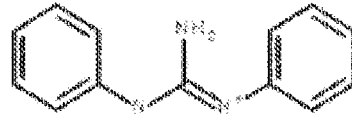
2,3,5,6-tetrahidro-1H-imidazo[1,2-a]imidazol-7-ilo



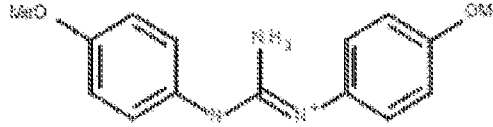
[Amino-(ciclohexilamino)metilén]-ciclohexil-amonio



[Amino-(2-tienilamino)metilén]-(2-tienil)amonio



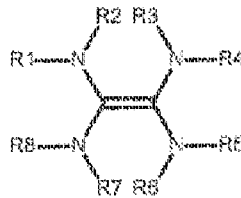
[Amino(anilino)metilén]-fenil-amonio



[Amino-(4-metoxianilino)metilén}-(4-metoxifenil)amónio

Fórmula 4

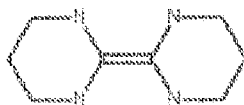
En ciertas realizaciones, C puede incluir un catión etenotetramino, un catión orgánico de la fórmula general  $[(R_2N)_2C=C(NR_2)_2]^+$  donde los grupos R pueden ser los mismos o diferentes grupos. Los grupos R adecuados incluyen, entre otros: hidrógeno, grupo metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo o isómero de este; cualquier alcano, alqueno o alquino  $C_xH_y$ , donde  $x = 1 - 20$ ,  $y = 1 - 42$ , cíclico, ramificado o de cadena lineal; haluros de alquilo,  $C_xH_yX_z$ ,  $x = 1 - 20$ ,  $y = 0 - 42$ ,  $z = 1 - 42$ ,  $X = F, Cl, Br$  o  $I$ ; cualquier grupo aromático (por ejemplo, fenilo, alquilfenilo, alcoxfenilo, piridina, naftaleno); complejos cíclicos donde al menos un nitrógeno está contenido en el anillo (por ejemplo, 2-hexahidropirimidin-2-ilideno-hexahidropirimidina, octahidropirazino[2,3-b]pirazina, pirazino[2,3-b]pirazina, quinoxalino[2,3-b]quinoxalina); cualquier grupo que contenga azufre (por ejemplo, sulfóxido, tior, sulfuro de alquilo); cualquier grupo que contenga nitrógeno (nitróxido, amina); cualquier grupo que contenga fósforo (fosfato); cualquier grupo que contenga boro (por ejemplo, ácido borónico); cualquier ácido orgánico (ácido acético, ácido propanoico) y derivados de éster o amida de este; cualquier aminoácido (por ejemplo, glicina, cisteína, prolina, ácido glutámico, arginina, serina, histidina, ácido 5-aminovalérico) incluyendo derivados alfa, beta, gamma y superiores; cualquier grupo que contenga silicio (por ejemplo, siloxano); y cualquier alcoxi o grupo,  $-OC_xH_y$ , donde  $x = 0 - 20$ ,  $y = 1 - 42$ .



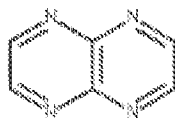
Fórmula 5

La fórmula 5 ilustra la estructura de un catión etenotetramino que tiene la fórmula general de  $[(R_2N)_2C=C(NR_2)_2]^+$  como se describió anteriormente. La fórmula 6 ilustra ejemplos de estructuras de diversos iones etenotetramino que pueden servir como un catión «C» en un material de perovskita.

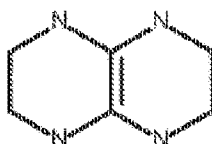
2-hexahidropirimidin-2-ilideno-hexahidropirimidina



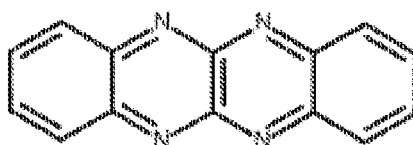
pirazino[2,3-b]pirazina



1,2,3,4,5,6,7,8-octahidropirazino[2,3-b]pirazina

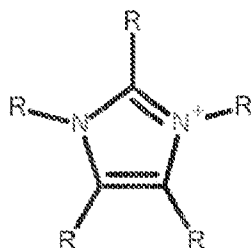


quinoxalino[2,3-b]quinoxalina



Fórmula 6

En ciertas realizaciones, C puede incluir un catión imidazolio, un catión orgánico cíclico aromático de la fórmula general [CRNRCNRNRCR]<sup>+</sup> donde los grupos R pueden ser los mismos o diferentes grupos. Los grupos R adecuados pueden incluir, entre otros: hidrógeno, grupo metilo, etilo, propilo, butilo, pentilo o isómero de este; cualquier alcano, alqueno o alquino C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, donde x = 1 - 20, y = 1 - 42, cíclico, ramificado o de cadena lineal; haluros de alquilo, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>X<sub>z</sub>, x = 1 - 20, y = 0 - 42, z = 1 - 42, X = F, Cl, Br o I; cualquier grupo aromático (por ejemplo, fenilo, alquilfenilo, alcoxifenilo, piridina, naftaleno); complejos cíclicos donde al menos un nitrógeno está contenido en el anillo (por ejemplo, 2-hexahidropirimidin-2-ilideno-hexahidropirimidina, octahidropirazino[2,3-b]pirazina, pirazino[2,3-b]pirazina, quinoxalino[2,3-b]quinoxalina); cualquier grupo que contenga azufre (por ejemplo, sulfóxido, tiol, sulfuro de alquilo); cualquier grupo que contenga nitrógeno (nitróxido, amina); cualquier grupo que contenga fósforo (fosfato); cualquier grupo que contenga boro (por ejemplo, ácido borónico); cualquier ácido orgánico (ácido acético, ácido propanoico) y derivados de éster o amida de este; cualquier aminoácido (por ejemplo, glicina, cisteína, prolina, ácido glutámico, arginina, serina, histinidina, ácido 5-amonioalérico) incluyendo derivados alfa, beta, gamma y superiores; cualquier grupo que contenga silicio (por ejemplo, siloxano); y cualquier alcoxi o grupo, -OC<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, donde x = 0 - 20, y = 1 - 42.



Fórmula 7

En algunas realizaciones, X puede incluir uno o más haluros. En ciertas realizaciones, X puede incluir en lugar, o además, de un anión del Grupo 16. En ciertas realizaciones, el anión del Grupo 16 puede ser sulfuro o seleniuro. En ciertas realizaciones, X puede incluir en lugar, o además, de uno o más pseudohaluros (por ejemplo, cianuro, cianato, isocianato, fulminato, tiocianato, isotiocianato, azida, tetracarbonilcobaltato, carbamoildicianometanida, dicianonitrosometanida, dicianamida y triclanometanida). En algunas realizaciones, cada catión orgánico C puede ser mayor que cada metal M, y cada anión X puede unirse tanto con un catión C como con un metal M. Los ejemplos de materiales de perovskita según varias realizaciones incluyen  $CsSnI_3$  (comentado previamente en el presente documento) y  $Cs_xSn_yI_z$ , (con x, y y z variables según lo comentado previamente). Otros ejemplos incluyen compuestos de la fórmula general  $CsSnX_3$ , donde X puede ser uno o más de  $I_3$ ,  $I_{2,95}F_{0,05}$ ,  $I_2Cl$ ,  $ICl_2$ , y  $Cl_3$ . En otras realizaciones, X puede comprender uno o más de I, Cl, F y Br en cantidades tales que la proporción total de X en comparación con Cs y Sn de como resultado la estequiometría general de  $CsSnX_3$ . En algunas realizaciones, la estequiometría combinada de los elementos que constituyen X puede seguir las mismas reglas que  $I_z$ , como se comentó previamente con respecto a  $Cs_xSn_yI_z$ . Otros ejemplos más incluyen compuestos de la fórmula general  $RNH_3PbX_3$ , donde R puede ser  $C_nH_{2n+1}$ , siendo n un valor de 0 a 10, y pudiendo X incluir uno o más de F, Cl, Br e I en cantidades tales que la proporción total de X en comparación con el catión  $RNH_3$  y el metal Pb da como resultado la estequiometría general de  $RNH_3PbX_3$ . Además, algunos ejemplos específicos de R incluyen H, cadenas de alquilo (por ejemplo,  $CH_3$ ,  $CH_3CH_2$ ,  $CH_3CH_2CH_2$ , etc.) y aminoácidos (por ejemplo, glicina, cisteína, prolina, ácido glutámico, arginina, serina, histidina, ácido 5-amonioalérico) que incluyen derivados alfa, beta, gamma y superiores.

#### 20 Diseño de dispositivo de material de perovskita compuesto

En algunas realizaciones, la presente explicación puede proporcionar un diseño compuesto de dispositivos fotovoltaicos y otros dispositivos similares (por ejemplo, baterías, baterías fotovoltaicas híbridas, FET, LED, etc.) que incluyen uno o más materiales de perovskita. Por ejemplo, uno o más materiales de perovskita pueden servir como uno o ambos del primer y segundo material activo de algunas realizaciones (por ejemplo, los materiales 2810 y 2815 activos de la figura 5). En términos más generales, algunas realizaciones de la presente explicación proporcionan dispositivos fotovoltaicos u otros dispositivos que tienen una capa activa que comprende uno o más materiales de perovskita. En dichas realizaciones, el material de perovskita (esto es, material que incluye uno o más materiales de perovskita) se puede emplear en capas activas de varias arquitecturas. Asimismo, el material de perovskita puede servir para la(s) función(es) de uno o más componentes de una capa activa (por ejemplo, material de transporte de carga, material mesoporoso, material fotoactivo y/o material interfacial, cada uno de los cuales se comenta con mayor detalle a continuación). En algunas realizaciones, los mismos materiales de perovskita pueden cumplir múltiples funciones de este tipo, aunque en otras realizaciones, se puede incluir una pluralidad de materiales de perovskita en un dispositivo, cumpliendo cada material de perovskita una o más de estas funciones. En ciertas realizaciones, sea cual sea la función que pueda cumplir un material de perovskita, se puede preparar y/o presentar en un dispositivo en varios estados. Por ejemplo, puede ser sustancialmente sólido en algunas realizaciones. En otras realizaciones, puede ser una solución (por ejemplo, el material de perovskita puede estar disuelto en líquido y estar presente en dicho líquido en su subespecie iónica individual); o puede ser una suspensión (por ejemplo, de partículas de material de perovskita). Una solución o suspensión se puede recubrir o depositar de otro modo dentro de un dispositivo (por ejemplo, sobre otro componente del dispositivo, como una capa mesoporosa, interfacial, de transporte de carga, fotoactiva u otra, y/o sobre un electrodo). Los materiales de perovskita en algunas realizaciones se pueden formar *in situ* sobre una superficie de otro componente de un dispositivo (por ejemplo, mediante deposición de vapor como un sólido de película delgada). Se puede emplear cualquier otro medio adecuado para formar una capa sólida o líquida que comprenda material de perovskita.

En general, un dispositivo de material de perovskita puede incluir un primer electrodo, un segundo electrodo y una capa activa que comprende un material de perovskita, estando dispuesta la capa activa al menos parcialmente entre el primer y el segundo electrodo. En algunas realizaciones, el primer electrodo puede ser uno de un ánodo y un cátodo, y el segundo electrodo puede ser el otro de un ánodo y un cátodo. Una capa activa según ciertas realizaciones puede incluir uno o más componentes de capa activa, incluyendo uno o más de los siguientes: material de transporte de carga; electrolito líquido; material mesoporoso; material fotoactivo (por ejemplo, un colorante, silicio, telururo de cadmio, sulfuro de cadmio, seleniuro de cadmio, seleniuro de cobre, indio y galio, arseniuro de galio, fosfuro de germanio e indio, polímeros semiconductores, otros materiales fotoactivos); y material interfacial. Uno o más de estos componentes de capa activa pueden incluir uno o más materiales de perovskita. En algunas realizaciones, algunos

componentes, o todos los componentes, de la capa activa pueden estar dispuestos en su totalidad o en parte en forma de subcapas. Por ejemplo, la capa activa puede comprender uno o más de los siguientes elementos: una capa interfacial que incluya material interfacial; una capa mesoporosa que incluya material mesoporoso; y una capa de transporte de carga que incluya material de transporte de carga. En algunas realizaciones, un material fotoactivo, como un colorante, puede recubrirse, o disponerse de otro modo, sobre una o más de estas capas. En ciertas realizaciones, una o más capas pueden recubrirse con un electrolito líquido. Además, una capa interfacial puede incluirse entre dos o más capas de una capa activa según algunas realizaciones, y/o entre una capa y un recubrimiento (como entre un colorante y una capa mesoporosa), y/o entre dos recubrimientos (como entre un electrolito líquido y un colorante), y/o entre un componente de la capa activa y un electrodo. La referencia a capas en el presente documento puede incluir una disposición final (por ejemplo, porciones sustancialmente discretas de cada material definible por separado dentro del dispositivo) y/o la referencia a una capa puede significar una disposición durante la construcción de un dispositivo, a pesar de la posibilidad de una mezcla posterior de material(es) en cada capa. En algunas realizaciones, las capas pueden ser discretas y comprender material sustancialmente contiguo (por ejemplo, las capas pueden ser como se ilustra estilísticamente en la figura 1). En otras realizaciones, las capas pueden estar sustancialmente entremezcladas (como en el caso de, por ejemplo, BHJ, celdas híbridas y algunas celdas DSSC), un ejemplo de lo cual se muestra mediante el primer y segundo material 2618 y 2620 activo dentro de la capa 2616 fotoactiva en la figura 4. En algunas realizaciones, un dispositivo puede comprender una mezcla de estas dos clases de capas, como también se muestra mediante el dispositivo de la figura 4, que contiene capas 2627, 2626 y 2622 contiguas discretas, además de una capa 2616 fotoactiva que comprende capas entremezcladas de primer y segundo material 2618 y 2620 activo. En cualquier caso, en ciertas realizaciones, dos o más capas cualesquiera de cualquier clase pueden estar dispuestas adyacentes entre sí (y/o entremezcladas entre sí) de tal manera que se logre una alta superficie de contacto. En ciertas realizaciones, una capa que comprende material de perovskita puede estar dispuesta adyacente a una o más capas adicionales de tal manera que se logre una alta superficie de contacto (por ejemplo, cuando un material de perovskita exhibe baja movilidad de carga). En otras realizaciones, puede que no sea necesaria una alta superficie de contacto (por ejemplo, cuando un material de perovskita exhibe alta movilidad de carga).

Un dispositivo de material de perovskita según algunas realizaciones puede incluir opcionalmente uno o más sustratos. En algunas realizaciones, uno o ambos del primer y segundo electrodo pueden estar recubiertos o dispuestos de otro modo sobre un sustrato, de modo que el electrodo esté dispuesto sustancialmente entre un sustrato y la capa activa. Los materiales de composición de los dispositivos (por ejemplo, sustrato, electrodo, capa activa y/o componentes de la capa activa) pueden ser en su totalidad, o en parte, rígidos o flexibles en varias realizaciones. En algunas realizaciones, un electrodo puede actuar como sustrato, eliminándose de ese modo la necesidad de un sustrato separado.

Asimismo, un dispositivo de material de perovskita según ciertas realizaciones puede incluir opcionalmente material de captación de luz (por ejemplo, en una capa de captación de luz, tal como la capa 1601 de captación de luz como se representa en el ejemplo de sistema FV representado en la figura 2). Es más, un dispositivo de material de perovskita puede incluir uno o más aditivos, tales como uno o más de los aditivos comentados anteriormente con respecto a algunas realizaciones de la presente explicación.

La descripción de algunos de los diversos materiales que pueden incluirse en un dispositivo de material de perovskita se hará en parte con referencia a la figura 7. La figura 7 es un diagrama estilizado de un dispositivo 3900 de material de perovskita según algunas realizaciones. Aunque varios componentes del dispositivo 3900 se ilustran como capas discretas que comprenden material contiguo, debe entenderse que la figura 7 es un diagrama estilizado; por tanto, las realizaciones según ella pueden incluir dichas capas discretas y/o capas no contiguas sustancialmente entremezcladas, según el uso de «capas» comentado previamente en este documento. El dispositivo 3900 incluye un primer y un segundo sustrato 3901 y 3913. Un primer electrodo 3902 está dispuesto sobre una superficie interior del primer sustrato 3901, y un segundo electrodo 3912 está dispuesto sobre una superficie interior del segundo sustrato 3913. Una capa 3950 activa está intercalada entre los dos electrodos 3902 y 3912. La capa 3950 activa incluye una capa 3904 mesoporosa; un primer y un segundo material 3906 y 3908 fotoactivo; una capa 3910 de transporte de carga, y varias capas interfaciales. La figura 7 ilustra asimismo un dispositivo 3900 de ejemplo según realizaciones en donde las subcapas de la capa 3950 activa están separadas por las capas interfaciales, y además en donde las capas interfaciales están dispuestas sobre cada electrodo 3902 y 3912. En particular, las capas segunda, tercera y cuarta 3905, 3907 y 3909 interfaciales están dispuestas respectivamente entre cada una de la capa 3904 mesoporosa, el primer material 3906 fotoactivo, el segundo material 3908 fotoactivo y la capa 3910 de transporte de carga. Las capas primera y quinta 3903 y 3911 interfaciales están dispuestas respectivamente entre (i) el primer electrodo 3902 y la capa 3904 mesoporosa; y (ii) la capa 3910 de transporte de carga y el segundo electrodo 3912. Por tanto, la arquitectura del dispositivo de ejemplo representado en la figura 7 puede caracterizarse como: sustrato - electrodo - capa activa - electrodo - sustrato. La arquitectura de la capa 3950 activa puede caracterizarse como: capa interfacial - capa mesoporosa - capa interfacial - material fotoactivo - capa interfacial - material fotoactivo - capa interfacial - capa de transporte de carga - capa interfacial. Como se indicó previamente, en algunas realizaciones, no es necesario que estén presentes capas interfaciales; o bien, una o más capas interfaciales pueden incluirse solo entre algunos de los componentes, pero no todos, de una capa activa y/o componentes de un dispositivo.

Un sustrato, tal como uno o ambos de los sustratos 3901 y 3913 primero y segundo, puede ser flexible o rígido. Si se incluyen dos sustratos, al menos uno debe ser transparente o translúcido a la radiación electromagnética (EM) (tal como, por ejemplo, radiación UV, visible o IR). Si se incluye un sustrato, puede ser igualmente transparente o

translúcido, aunque no es necesario que lo sea, siempre que una porción del dispositivo permita que la radiación EM entre en contacto con la capa 3950 activa. Los materiales de sustrato adecuados incluyen uno o más de los siguientes: vidrio; zafiro; óxido de magnesio (MgO); mica; polímeros (por ejemplo, PET, PEG, polipropileno, polietileno, etc.); cerámica; telas (por ejemplo, algodón, seda, lana); madera; paneles de yeso; metal; y combinaciones de estos.

5 Como se señaló previamente, un electrodo (por ejemplo, uno de los electrodos 3902 y 3912 de la figura 7) puede ser un ánodo o un cátodo. En algunas realizaciones, un electrodo puede funcionar como un cátodo y el otro puede funcionar como un ánodo. Cualquiera o ambos electrodos 3902 y 3912 pueden estar acoplados a conductores, cables, alambres u otros medios que permitan el transporte de carga hacia, y/o desde, el dispositivo 3900. Un electrodo puede constituir cualquier material conductor y al menos un electrodo debe ser transparente o translúcido a la radiación EM  
10 y/o estar dispuesto de una manera que permita que la radiación EM entre en contacto con al menos una porción de la capa 3950 activa. Los materiales de electrodo adecuados pueden incluir uno o más de los siguientes: óxido de indio y estaño u óxido de indio dopado con estaño (ITO); óxido de estaño dopado con flúor (FTO); óxido de cadmio (CdO); óxido de cinc e indio y estaño (ZITO); óxido de aluminio y cinc (AZO); aluminio (Al); oro (Au); calcio (Ca); magnesio (Mg); titanio (Ti); acero; carbono (y alótropos de este); y combinaciones de estos.

15 El material mesoporoso (por ejemplo, el material incluido en la capa 3904 mesoporosa de la figura 7) puede incluir cualquier material que contenga poros. En algunas realizaciones, los poros pueden tener diámetros de aproximadamente 1 nm a aproximadamente 100 nm; en otras realizaciones, el diámetro de poro puede ser de aproximadamente 2 nm a aproximadamente 50 nm. El material mesoporoso adecuado incluye uno o más de lo siguiente: cualquier material interfacial y/o material mesoporoso comentado en otra parte del presente documento;  
20 aluminio (Al); bismuto (Bi); indio (In); molibdeno (Mo); niobio (Nb); níquel (Ni); silicio (Si); titanio (Ti); vanadio (V); cinc (Zn); circonio (Zr); un óxido de uno o más de los metales anteriores (por ejemplo, alúmina, cenita, titania, óxido de cinc, zircona, etc.); un sulfuro de uno o más de los metales anteriores; un nitruro de uno o más de los metales anteriores; y combinaciones de estos.

25 El material fotoactivo (por ejemplo, el primer o segundo material 3906 o 3908 fotoactivo de la figura 7) puede comprender cualquier compuesto fotoactivo, como, por ejemplo, uno o más de silicio (en algunos casos, silicio monocristalino), telururo de cadmio, sulfuro de cadmio, seleniuro de cadmio, seleniuro de cobre, indio y galio, arseniuro de galio, fosfuro de germanio e indio, uno o más polímeros semiconductores y combinaciones de estos. En ciertas realizaciones, el material fotoactivo puede comprender en su lugar, o además, un colorante (por ejemplo, N719, N3, otros colorantes a base de rutenio). En algunas realizaciones, un colorante (de cualquier composición) puede recubrirse sobre otra capa (por ejemplo, una capa mesoporosa y/o una capa interfacial). En algunas realizaciones, el material fotoactivo puede incluir uno o más materiales de perovskita. La sustancia fotoactiva que contiene material de perovskita puede ser de forma sólida o, en algunas realizaciones, puede adoptar la forma de un colorante que incluya una suspensión o solución que comprenda material de perovskita. Dicha solución o suspensión puede recubrirse sobre otros componentes del dispositivo de una manera similar a otros colorantes. En algunas realizaciones, el material  
35 sólido que contiene perovskita puede depositarse mediante cualquier medio adecuado (por ejemplo, deposición de vapor, deposición de solución, colocación directa de material sólido, etc.). Los dispositivos según varias realizaciones pueden incluir uno, dos, tres o más compuestos fotoactivos (por ejemplo, uno, dos, tres o más materiales de perovskita, colorantes o combinaciones de estos). En ciertas realizaciones que incluyen múltiples colorantes u otros materiales fotoactivos, cada uno de los dos o más colorantes u otros materiales fotoactivos puede estar separado por una o más capas interfaciales. En algunas realizaciones, múltiples colorantes y/o compuestos fotoactivos pueden estar entremezclados al menos en parte.

40 El material de transporte de carga (por ejemplo, el material de transporte de carga de la capa 3910 de transporte de carga en la figura 7) puede incluir material de transporte de carga de estado sólido (es decir, un denominado coloquialmente electrolito de estado sólido), o puede incluir un electrolito líquido y/o un líquido iónico. Cualquier electrolito líquido, líquido iónico y material de transporte de carga de estado sólido puede denominarse material de transporte de carga. Como se usa en el presente documento, «material de transporte de carga» se refiere a cualquier material, sólido, líquido o de otro tipo, capaz de recoger portadores de carga y/o transportar portadores de carga. Por poner un ejemplo, en dispositivos fotovoltaicos según algunas realizaciones, un material de transporte de carga permite transportar portadores de carga a un electrodo. Los portadores de carga pueden incluir huecos (cuyo transporte podría hacer que el material de transporte de carga se denomine también correctamente «material de transporte de huecos») y electrones. Los huecos pueden transportarse hacia un ánodo y los electrones hacia un cátodo, dependiendo de la colocación del material de transporte de carga en relación con un cátodo o un ánodo en un sistema FV u otro dispositivo. Los ejemplos adecuados de material de transporte de carga según algunas realizaciones pueden incluir uno o más de lo siguiente: material de perovskita;  $I^2/I_3$ ; complejos de Co; politiófenos (por ejemplo, poli(3-hexiltiofeno) y derivados de este, o P3HT); copolímeros a base de carbazol tales como poliheptadecanilcarbazol ditiénilbenzotiadiazol y derivados de este (por ejemplo, PCDTBT); otros copolímeros tales como policiclopentaditiófenobenzotiadiazol y derivados de este (por ejemplo, PCPDTBT), polibenzoditiófenil-tienotiofenodiilo y derivados de este (por ejemplo, PTB6, PTB7, PTB7-th, PCE-10); compuestos de poli(triarilamina) y derivados de estos (por ejemplo, PTAA); Spiro-OMeTAD; polifenilvinileno y derivados de estos (por ejemplo, MDMO-PPV, MEH-PPV); fulerenos y/o derivados de fulerenos (por ejemplo, C60, PCBM); y combinaciones de estos. En ciertas realizaciones, el material de transporte de carga puede incluir cualquier material, sólido o líquido, capaz de recoger portadores de carga (electrones o huecos), y/o capaz de transportar portadores de carga. Por lo tanto, el material de transporte de carga de algunas realizaciones puede ser un material activo y/o semiconductor de tipo n o

p. El material de transporte de carga puede estar dispuesto próximo a uno de los electrodos de un dispositivo. En algunas realizaciones, puede estar dispuesto adyacente a un electrodo, aunque en otras realizaciones puede estar dispuesta una capa interfacial entre el material de transporte de carga y un electrodo (como se muestra, por ejemplo, en la figura 7 con la quinta capa 3911 interfacial). En ciertas realizaciones, el tipo de material de transporte de carga puede seleccionarse en función del electrodo al que está próximo. Por ejemplo, si el material de transporte de carga recoge y/o transporta huecos, puede estar próximo a un ánodo para transportar huecos hasta el ánodo. Sin embargo, el material de transporte de carga puede, en su lugar, colocarse próximo a un cátodo y seleccionarse o construirse de modo que transporte electrones hasta el cátodo.

Como se ha indicado previamente, los dispositivos según diversas realizaciones pueden incluir opcionalmente una capa interfacial entre cualesquiera otras dos capas y/o materiales, aunque los dispositivos según algunas realizaciones no necesitan contener ninguna capa interfacial. Por tanto, por ejemplo, un dispositivo de material de perovskita puede contener cero, una, dos, tres, cuatro, cinco o más capas interfaciales (como el dispositivo de ejemplo de la figura 7, que contiene cinco capas 3903, 3905, 3907, 3909 y 3911 interfaciales). Una capa interfacial puede incluir una capa interfacial de recubrimiento delgado según las realizaciones comentadas previamente en el presente documento (por ejemplo, que comprende alúmina y/u otras partículas de óxido metálico, y/o una bicapa de óxido de titanio/metál, y/u otros compuestos según capas interfaciales de recubrimiento delgado como se comenta en otra parte del presente documento). Una capa interfacial según algunas realizaciones puede incluir cualquier material adecuado para mejorar el transporte y/o la recogida de carga entre dos capas o materiales; también puede ayudar a prevenir o disminuir la probabilidad de recombinación de carga una vez que una carga ha sido transportada lejos de uno de los materiales adyacentes a la capa interfacial. Los materiales interfaciales adecuados pueden incluir uno o más de lo siguiente: cualquier material mesoporoso y/o material interfacial comentado en otra parte del presente documento; Al; Bi; Co; Cu; Fe; In; Mn; Mo; Ni; platino (Pt); Si; Sn; Ta; Ti; V; W; Nb; Zn; Zr; óxidos de cualquiera de los metales anteriores (por ejemplo, alúmina, sílice, titanía); un sulfuro de cualquiera de los metales anteriores; un nitruro de cualquiera de los metales anteriores; grupos alquilsililo funcionalizados o no funcionalizados; grafito; grafeno; fulerenos; nanotubos de carbono; y combinaciones de estos (incluidas, en algunas realizaciones, bicapas de materiales combinados). En algunas realizaciones, una capa interfacial puede incluir material de perovskita.

Un dispositivo según la representación estilizada de la figura 7 puede ser en algunas realizaciones un sistema FV, tal como una DSSC, BHJ o una celda solar híbrida. En algunas realizaciones, los dispositivos según la figura 7 pueden constituir sistemas FV multicelda en paralelo o en serie, baterías, baterías FV híbridas, FET, LEDS y/o cualquier otro dispositivo comentado en el presente documento. Por ejemplo, una BHJ de algunas realizaciones puede incluir dos electrodos correspondientes a los electrodos 3902 y 3912, y una capa activa que comprende al menos dos materiales en una interfaz de heterounión (por ejemplo, dos cualesquiera de los materiales y/o capas de la capa 3950 activa). En ciertas realizaciones, otros dispositivos (tales como baterías FV híbridas, sistemas FV multicelda en paralelo o en serie, etc.) pueden comprender una capa activa que incluya un material de perovskita, correspondiente a la capa 3950 activa de la figura 7. En resumen, la naturaleza estilizada de la representación del dispositivo de ejemplo de la figura 7 no debe de ninguna manera limitar la estructura o arquitectura permisible de dispositivos de diversas realizaciones según la figura 7.

Se comentarán ejemplos de realización adicionales, más específicos, de dispositivos de perovskita en términos de representaciones estilizadas adicionales de dispositivos de ejemplo. La naturaleza estilizada de estas representaciones, figuras 8-18, de manera similar no restringe el tipo de dispositivo que puede construirse en algunas realizaciones según una o más de las figuras 8-18. Esto es, las arquitecturas exhibidas en las figuras 8-18 pueden adaptarse para proporcionar las BHJ, baterías, FET, baterías fotovoltaicas híbridas, sistemas FV multicelda en serie, sistemas FV multicelda en paralelo y otros dispositivos similares de otras realizaciones de la presente explicación, según cualquier medio adecuado (incluidos tanto los expresamente comentados en otra parte del presente documento como otros medios adecuados, que serán evidentes para los expertos en la materia con el beneficio de esta explicación).

La figura 8 representa un dispositivo 4100 de ejemplo según varias realizaciones. El dispositivo 4100 ilustra realizaciones que incluyen un primer y un segundo sustrato 4101 y 4109 de vidrio. Cada sustrato de vidrio tiene un electrodo FTO dispuesto sobre su superficie interior (primer electrodo 4102 y segundo electrodo 4108, respectivamente), y cada electrodo tiene una capa interfacial depositada sobre su superficie interior: la primera capa 4103 interfacial de  $\text{TiO}_2$  se deposita sobre el primer electrodo 4102, y la segunda capa 4107 interfacial de Pt se deposita sobre el segundo electrodo 4108. Entre las dos capas interfaciales se encuentran: una capa 4104 mesoporosa (que comprende  $\text{TiO}_2$ ); un material 4105 fotoactivo (que comprende el material de perovskita  $\text{MAPbI}_3$ ); y una capa 4106 de transporte de carga (que comprende aquí  $\text{CsSnI}_3$ ).

La figura 9 muestra un dispositivo 4300 de ejemplo en que se omite una capa mesoporosa. El dispositivo 4300 incluye un compuesto 4304 fotoactivo de material de perovskita (que comprende  $\text{MAPbI}_3$ ) intercalado entre las capas 4303 y 4305 interfaciales primera y segunda (que comprenden titanía y alúmina, respectivamente). La capa 4303 interfacial de titanía está recubierta sobre un primer electrodo 4302 FTO, que a su vez está dispuesto sobre una superficie interna de un sustrato 4301 de vidrio. La capa 4306 de transporte de carga Spiro-OMeTAD está recubierta sobre una capa 4305 interfacial de alúmina y está dispuesta sobre una superficie interior de un segundo electrodo 4307 de oro.

Como será evidente para un experto en la materia con el beneficio de esta explicación, son posibles otras diversas realizaciones, como un dispositivo con múltiples capas fotoactivas (como se ejemplifica mediante las capas 3906 y 3908 fotoactivas del dispositivo de ejemplo de la figura 7). En algunas realizaciones, como se ha comentado anteriormente, cada capa fotoactiva puede estar separada por una capa interfacial (como se muestra mediante la tercera capa 3907 interfacial en la figura 7). Asimismo, una capa mesoporosa puede estar dispuesta sobre un electrodo como se ilustra en la figura 7 mediante la capa 3904 mesoporosa que está dispuesta sobre el primer electrodo 3902. Aunque la figura 7 representa una capa 3903 interfacial intermedia dispuesta entre las dos, en algunas realizaciones una capa mesoporosa puede estar dispuesta directamente sobre un electrodo.

Ejemplos adicionales de dispositivos de material de perovskita

10 Otras arquitecturas de dispositivos de material de perovskita de ejemplo serán evidentes para aquellos expertos en la técnica con el beneficio de esta explicación. Los ejemplos incluyen, entre otros, dispositivos que contienen capas activas que tienen cualquiera de las siguientes arquitecturas: (1) electrolito líquido - material de perovskita - capa mesoporosa; (2) material de perovskita - colorante - capa mesoporosa; (3) primer material de perovskita - segundo material de perovskita - capa mesoporosa; (4) primer material de perovskita - segundo material de perovskita; (5) primer material de perovskita - colorante - segundo material de perovskita; (6) material de transporte de carga de estado sólido - material de perovskita; (7) material de transporte de carga de estado sólido - colorante - material de perovskita - capa mesoporosa; (8) material de transporte de carga de estado sólido - material de perovskita - colorante - capa mesoporosa; (9) material de transporte de carga de estado sólido - colorante - material de perovskita - capa mesoporosa; y (10) material de transporte de carga de estado sólido - material de perovskita - colorante - capa mesoporosa. Los componentes individuales de cada arquitectura de ejemplo (por ejemplo, capa mesoporosa, material de transporte de carga, etc.) pueden estar según lo comentado anteriormente para cada componente. Asimismo, cada arquitectura de ejemplo se comenta con más detalle a continuación.

25 Como un ejemplo particular de algunas de las capas activas mencionadas anteriormente, en algunas realizaciones, una capa activa puede incluir un electrolito líquido, material de perovskita y una capa mesoporosa. La capa activa de algunas de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: electrolito líquido - material de perovskita - capa mesoporosa. Cualquier electrolito líquido puede ser adecuado; y cualquier capa mesoporosa (por ejemplo,  $\text{TiO}_2$ ) puede ser adecuada. En algunas realizaciones, el material de perovskita puede depositarse sobre la capa mesoporosa y, a continuación, recubrirse con el electrolito líquido. El material de perovskita de algunas de dichas realizaciones puede actuar al menos en parte como un colorante (por tanto, puede ser fotoactivo).

30 En otras realizaciones de ejemplo, una capa activa puede incluir material de perovskita, un colorante y una capa mesoporosa. La capa activa de algunas de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: material de perovskita - colorante - capa mesoporosa. El colorante puede estar recubierto sobre la capa mesoporosa y el material de perovskita puede estar dispuesto sobre la capa mesoporosa recubierta con colorante. El material de perovskita puede funcionar como material de transporte de huecos en algunas de estas realizaciones.

35 En otras realizaciones más de ejemplo, una capa activa puede incluir un primer material de perovskita, un segundo material de perovskita y una capa mesoporosa. La capa activa de algunas de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: primer material de perovskita - segundo material de perovskita - capa mesoporosa. El primer y segundo material de perovskita pueden comprender cada uno el mismo material de perovskita o pueden comprender diferentes materiales de perovskita. Cualquiera de los primeros y segundos materiales de perovskita puede ser fotoactivo (por ejemplo, un primer y/o segundo material de perovskita de dichas realizaciones puede funcionar al menos en parte como un colorante).

45 En ciertas realizaciones de ejemplo, una capa activa puede incluir un primer material de perovskita y un segundo material de perovskita. La capa activa de algunas de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: primer material de perovskita - segundo material de perovskita. El primer y segundo material de perovskita pueden comprender cada uno el mismo material de perovskita o pueden comprender diferentes materiales de perovskita. Cualquiera de los primeros y segundos materiales de perovskita puede ser fotoactivo (por ejemplo, un primer y/o segundo material de perovskita de dichas realizaciones puede funcionar al menos en parte como un colorante). Es más, cualquiera de los primeros y segundos materiales de perovskita puede ser capaz de funcionar como material de transporte de huecos. En algunas realizaciones, uno de los primeros y segundos materiales de perovskita funciona como un material de transporte de electrones, y el otro de los primeros y segundos materiales de perovskita funciona como un colorante. En algunas realizaciones, los materiales de perovskita primero y segundo pueden estar dispuestos dentro de la capa activa de una manera que logre un área interfacial alta entre el primer material de perovskita y el segundo material de perovskita, tal como en la disposición mostrada para el primer y segundo material 2810 y 2815 activo, respectivamente, en la figura 5 (o como se muestra de manera similar mediante los materiales 2618 y 2620 de tipo p y n, respectivamente, en la figura 4).

60 En otras realizaciones de ejemplo, una capa activa puede incluir un primer material de perovskita, un colorante y un segundo material de perovskita. La capa activa de algunas de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: primer material de perovskita - colorante - segundo material de perovskita. Cualquiera de los materiales de perovskita primero y segundo puede funcionar como material de transporte de carga, y el otro de los materiales de perovskita primero y segundo puede funcionar como un colorante. En algunas realizaciones, tanto el primer como el

segundo material de perovskita pueden cumplir al menos en parte funciones superpuestas, similares y/o idénticas (por ejemplo, ambos pueden servir como un colorante y/o ambos pueden servir como material de transporte de huecos).

En algunas otras realizaciones de ejemplo, una capa activa puede incluir un material de transporte de carga de estado sólido y un material de perovskita. La capa activa de algunas de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: material de transporte de carga de estado sólido - material de perovskita. Por ejemplo, el material de perovskita y el material de transporte de carga de estado sólido pueden estar dispuestos dentro de la capa activa de una manera que logre un área interfacial alta, tal como en la disposición mostrada para el primer y segundo material 2810 y 2815 activo, respectivamente, en la figura 5 (o como se muestra de manera similar por el material 2618 y 2620 de tipo p y n, respectivamente, en la figura 4).

En otras realizaciones de ejemplo, una capa activa puede incluir un material de transporte de carga de estado sólido, un colorante, material de perovskita y una capa mesoporosa. La capa activa de algunas de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: material de transporte de carga de estado sólido - colorante - material de perovskita - capa mesoporosa. La capa activa de algunas otras de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: material de transporte de carga de estado sólido - material de perovskita - colorante - capa mesoporosa. El material de perovskita puede, en algunas realizaciones, servir como un segundo colorante. El material de perovskita puede, en tales realizaciones, aumentar la amplitud del espectro de luz visible absorbida por un sistema FV u otro dispositivo que incluya una capa activa de tales realizaciones. En ciertas realizaciones, el material de perovskita puede servir también, o en su lugar, como una capa interfacial entre el colorante y la capa mesoporosa, y/o entre el colorante y el material de transporte de carga.

En algunas realizaciones de ejemplo, una capa activa puede incluir un electrolito líquido, un colorante, un material de perovskita y una capa mesoporosa. La capa activa de algunas de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: material de transporte de carga de estado sólido - colorante - material de perovskita - capa mesoporosa. La capa activa de otras de estas realizaciones puede tener sustancialmente la arquitectura: material de transporte de carga de estado sólido - material de perovskita - colorante - capa mesoporosa. El material de perovskita puede servir como material fotoactivo, una capa interfacial y/o una combinación de estos.

Algunas realizaciones proporcionan dispositivos fotovoltaicos BHJ que incluyen materiales de perovskita. Por ejemplo, un dispositivo BHJ de algunas realizaciones puede incluir una capa fotoactiva (por ejemplo, la capa 2404 fotoactiva de la figura 3), que puede incluir uno o más materiales de perovskita. La capa fotoactiva de dicho dispositivo BHJ puede incluir también, o en su lugar, incluir cualquiera uno o más de los componentes de ejemplo enumerados anteriormente que se han comentado anteriormente con respecto a las capas de DSSC activas. Además, en algunas realizaciones, la capa de BHJ fotoactiva puede tener una arquitectura según cualquiera de las realizaciones de ejemplo de capas de DSSC activas comentadas anteriormente.

En algunas realizaciones, cualquiera de las capas activas que incluyen materiales de perovskita incorporados en el sistema FV u otros dispositivos como se comenta en este documento puede incluir además cualquiera de los diversos materiales adicionales también comentados en este documento como adecuados para su inclusión en una capa activa. Por ejemplo, cualquier capa activa que incluye material de perovskita puede incluir además una capa interfacial según diversas realizaciones analizadas en este documento (como, por ejemplo, una capa interfacial de recubrimiento delgado). A modo de ejemplo adicional, una capa activa que incluye material de perovskita puede incluir además una capa de captación de luz, como la capa 1601 de captación de luz como se representa en el sistema FV de ejemplo representado en la figura 2.

Formulación de la capa activa del material de perovskita

Como se comentó antes, en algunas realizaciones, un material de perovskita en la capa activa puede tener la formulación  $CMX_3 \cdot YX'_y$  ( $0 \geq y \geq 3$ ), donde: C comprende uno o más cationes (por ejemplo, una amina, amonio, un metal del Grupo 1, un metal del Grupo 2, formamidio, guanidinio, tetramina eteno y/u otros cationes o compuestos similares a cationes); M comprende uno o más metales (por ejemplo, Fe, Cd, Co, Ni, Cu, Hg, Sn, Pb, Bi, Ge, Ti, Zn y Zr); y X y X' comprenden uno o más aniones. En una realización, el material de perovskita puede comprender  $CPb_{1.3}Cl_y$ . En ciertas realizaciones, el material de perovskita se puede depositar como una capa activa en un dispositivo fotovoltaico mediante, por ejemplo, fundición por goteo, fundición por centrifugación, impresión con matriz de ranura, serigrafía o impresión por chorro de tinta sobre una capa de sustrato usando los pasos que se describen a continuación.

En primer lugar, se forma una tinta precursora de haluro de plomo. Se puede concentrar una cantidad de haluro de plomo en un vial limpio y seco dentro de una caja de guantes (es decir, una caja de atmósfera controlada con orificios que contienen guantes permite la manipulación de materiales en un entorno sin aire). Los haluros de plomo adecuados incluyen, entre otros, yoduro de plomo (II), bromuro de plomo (II), cloruro de plomo (II) y fluoruro de plomo (II). El haluro de plomo puede comprender una única especie de haluro de plomo o puede comprender una mezcla de haluro de plomo en una proporción precisa. En ciertas realizaciones, la mezcla de haluro de plomo puede comprender cualquier proporción binaria, ternaria o cuaternaria del 0,001 % al 100 % en moles de yoduro, bromuro, cloruro o fluoruro. En una realización, la mezcla de haluro de plomo puede comprender cloruro de plomo (II) y yoduro de plomo (II) en una proporción de aproximadamente 10:90 mol:mol. En otras realizaciones, la mezcla de haluro de plomo

puede comprender cloruro de plomo (II) y yoduro de plomo (II) en una proporción de aproximadamente 5:95, aproximadamente 7,5:92,5 o aproximadamente 15:85 mol:mol.

Alternativamente, se pueden usar otros precursores de sal de plomo junto con sales de haluro de plomo para formar la tinta precursora. Las sales precursoras adecuadas pueden comprender cualquier combinación de plomo (II) o plomo (IV) y los siguientes aniones: nitrato, nitrito, carboxilato, acetato, formiato, oxalato, sulfato, sulfito, tiosulfato, fosfato, tetrafluoroborato, hexafluorofosfato, tetra(perfluorofenil)borato, hidruro, óxido, peróxido, hidróxido, nitruro, arseniato, arsenito, perclorato, carbonato, bicarbonato, cromato, dicromato, yodato, bromato, clorato, clorito, hipoclorito, hipobromito, cianuro, cianato, isocianato, fulminato, tiocianato, isotiocianato, azida, tetracarbonilcobaltato, carbamoil dicianometanida, dicianonitrosometanida, dicianamida, tricianometanida, amida y permanganato.

- 5
- 10 La tinta precursora puede comprender además una sal de plomo (II) o de plomo (IV) en proporciones molares del 0 % al 100 % con respecto a los siguientes iones metálicos Fe, Cd, Co, Ni, Cu, Hg, Sn, Pb, Bi, Ge, Ti, Zn y Zr como sal de los aniones mencionados anteriormente.

Se añade un disolvente al vial para disolver los sólidos de plomo y formar la tinta precursora de haluro de plomo. Los disolventes adecuados se seleccionan del grupo que consiste en N-ciclohexil-2-pirrolidona seca, alquil-2-pirrolidona, dimetilformamida, dialquilformamida, dimetilsulfóxido (DMSO), metanol, etanol, propanol, butanol, tetrahidrofuran, formamida, terc-butilpiridina, piridina, alquilpiridina, pirrolidina, clorobenceno, diclorobenceno, diclorometano, cloroformo y combinaciones de estos. En una realización, los sólidos de plomo se disuelven en dimetilformamida seca (DMI). Los sólidos de plomo se pueden disolver a una temperatura de entre aproximadamente 20 °C y aproximadamente 150 °C. En una realización, los sólidos de plomo se disuelven a aproximadamente 85 °C. Los sólidos de plomo se pueden disolver durante el tiempo que sea necesario para formar una solución, lo que puede tener lugar durante un periodo de tiempo de hasta aproximadamente 72 horas. La solución resultante forma la base de la tinta precursora de haluro de plomo. En algunas realizaciones, la tinta precursora de haluro de plomo puede tener una concentración de haluro de plomo entre aproximadamente 0,001 M y aproximadamente 10 M. En una realización, la tinta precursora de haluro de plomo tiene una concentración de haluro de plomo de aproximadamente 1 M.

- 15
- 20
- 25 Opcionalmente, se pueden añadir ciertos aditivos a la tinta precursora de haluro de plomo para afectar la cristalinidad y estabilidad de la perovskita final. En algunas realizaciones, la tinta precursora de haluro de plomo puede comprender además un aminoácido (por ejemplo, ácido 5-aminovalérico, histidina, glicina, licina), un hidrohloruro de aminoácido (por ejemplo, clorhidrato de ácido 5-aminovalérico), un agente modificador de superficie (SAM) de IFL (como los comentados antes en la memoria descriptiva), o una combinación de estos. En una realización, se puede añadir cloruro de formamidinio a la tinta precursora de haluro de plomo. En otras realizaciones, se puede usar el haluro de cualquier catión comentado antes en la memoria descriptiva. En algunas realizaciones, se pueden añadir combinaciones de aditivos a la tinta precursora de haluro de plomo que incluyen, por ejemplo, la combinación de cloruro de formamidinio y clorhidrato de ácido 5-aminovalérico.

- 30
- 35 A modo de explicación, y sin limitar la explicación a ninguna teoría particular del mecanismo, se ha descubierto que el formamidinio y el ácido 5-aminovalérico mejoran la estabilidad del dispositivo fotovoltaico de perovskita cuando se usan como aditivos o contracaciones en una manufacturación de un dispositivo de perovskita de un solo paso. También se ha descubierto que el cloruro, en forma de  $PbCl_2$ , mejora el rendimiento del dispositivo fotovoltaico de perovskita cuando se añade a una solución precursora de  $PbI_2$  en un método de dos pasos. Se ha descubierto que el procedimiento de deposición de película delgada de perovskita de dos pasos se puede mejorar añadiendo cloruro de formamidinio y/o clorhidrato de ácido 5-aminovalérico directamente a una solución precursora de haluro de plomo (por ejemplo,  $PbI_2$ ) para aprovechar ambas ventajas con un único material. Otros procedimientos de deposición de película de perovskita se pueden mejorar así mismo añadiendo cloruro de formamidinio, clorhidrato de ácido 5-aminovalérico o  $PbCl_2$  a una solución precursora de haluro de plomo.

- 40
- 45 Los aditivos, que incluyen cloruro de formamidinio y/o clorhidrato de ácido 5-aminovalérico, se pueden añadir a la tinta precursora de haluro de plomo en diversas concentraciones dependiendo de las características deseadas del material de perovskita resultante. En una realización, los aditivos se pueden añadir en una concentración de aproximadamente 1 nM a aproximadamente n M. En otra realización, los aditivos se pueden añadir en una concentración de aproximadamente n  $\mu$ M a aproximadamente 1 M. En otra realización, los aditivos se pueden añadir en una concentración de aproximadamente 1  $\mu$ M a aproximadamente 1 mM.

- 50 Según la invención reivindicada, se añade agua a la tinta precursora de haluro de plomo. A modo de aclaración, y sin limitar la explicación a ninguna teoría o mecanismo en particular, la presencia de agua afecta al crecimiento cristalino de la película delgada de perovskita. En circunstancias normales, el agua puede absorberse como vapor del aire. Sin embargo, es posible controlar la cristalinidad de la perovskita FV mediante la adición directa de agua a la tinta precursora de haluro de plomo en concentraciones específicas. El agua adecuada incluye agua destilada, desionizada o cualquier otra fuente de agua que esté sustancialmente exenta de contaminantes (incluidos minerales). Se ha descubierto, basándose en barridos de I-V de luz, que la eficiencia de conversión de luz a energía de la perovskita FV puede casi triplicarse con la adición de agua en comparación con un dispositivo completamente seco.

- 55 El agua se puede añadir a la tinta precursora de haluro de plomo en diversas concentraciones dependiendo de las características deseadas del material de perovskita resultante. En una realización, el agua se puede añadir en una

concentración de aproximadamente 1 nl/ml a aproximadamente 1 ml/ml. En otra realización, el agua se puede añadir en una concentración de aproximadamente 1 µl/ml a aproximadamente 0,1 ml/ml. En otra realización, el agua se puede añadir en una concentración de aproximadamente 1 µl/ml a aproximadamente 20 µl/ml.

5 La figura 12 muestra imágenes de un microscopio electrónico de barrido de sección transversal que comparan un sistema FV de perovskita manufacturado con agua (5110) y sin agua (5120). Como se puede ver en la figura 12, hay un cambio estructural considerable en la capa (5111 y 5121) de material de perovskita cuando se excluye el agua (parte inferior) durante la manufacturación, en comparación con cuando se incluye agua (parte superior). La capa 5111 de material de perovskita (manufacturada con agua) es considerablemente más contigua y densa que la capa 5121 de material de perovskita (manufacturada sin agua).

10 La tinta precursora de haluro de plomo se deposita sobre el sustrato deseado. Las capas de sustrato adecuadas pueden incluir cualquiera de las capas de sustrato identificadas antes en esta explicación. Como se indicó anteriormente, la tinta precursora de haluro de plomo se puede depositar a través de una variedad de medios, que incluyen, entre otros, fundición por goteo, fundición por centrifugación, impresión con matriz de ranura, serigrafía o impresión por chorro de tinta. En ciertas realizaciones, la tinta precursora de haluro de plomo se puede aplicar por centrifugación sobre el sustrato a una velocidad de aproximadamente 52 rad/s (500 rpm) a aproximadamente 1047 rad/s (10 000 rpm) durante un periodo de tiempo de aproximadamente 5 segundos a aproximadamente 600 segundos. En una realización, la tinta precursora de haluro de plomo se puede aplicar por centrifugación sobre el sustrato a aproximadamente 314 rad/s (3000 rpm) durante aproximadamente 30 segundos. La tinta precursora de haluro de plomo se puede depositar sobre el sustrato en una atmósfera ambiente en una gama de humedad de aproximadamente el 0 % de humedad relativa a aproximadamente el 50 % de humedad relativa. Luego, la tinta precursora de haluro de plomo puede dejarse secar en una atmósfera sustancialmente exenta de agua, es decir, con una humedad relativa menor que el 20 %, para formar una película delgada.

15 La película delgada puede recocerse térmicamente durante un periodo de tiempo de hasta aproximadamente 24 horas a una temperatura de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 300 °C. En una realización, la película delgada puede recocerse térmicamente durante aproximadamente diez minutos a una temperatura de aproximadamente 50 °C. La capa activa de material de perovskita se completa mediante un procedimiento de conversión en donde la película precursora se sumerge o se enjuaga con una solución que comprende un disolvente o una mezcla de disolventes (por ejemplo, DMF, isopropanol, metanol, etanol, butanol, cloroformo, clorobenceno, dimetilsulfóxido, agua) y sal (por ejemplo, yoduro de metilamonio, yoduro de formamidinio, yoduro de guanidinio, yoduro de 1,2,2-triaminovinilamonio, hidroyoduro de ácido 5-aminovalérico) en una concentración entre 0,001 M y 10 M. En ciertas realizaciones, las películas delgadas también pueden ser recocidas térmicamente de la misma manera que en la primera línea de este párrafo.

20 Por lo tanto, la presente invención está bien adaptada para lograr los fines y las ventajas mencionados, así como aquellos que son inherentes a esta. Las realizaciones particulares explicadas anteriormente son solo ilustrativas, ya que la presente invención puede modificarse y practicarse de maneras diferentes, pero equivalentes, evidentes para aquellos expertos en la materia que se benefician de las instrucciones aquí contenidas. Asimismo, no se pretenden limitaciones a los detalles de construcción o diseño mostrados en este documento, salvo lo descrito en las reivindicaciones a continuación. También, los términos en las reivindicaciones tienen su significado simple y ordinario a menos que el titular de la patente los defina explícita y claramente de otra manera.

REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende los pasos siguientes:

preparar una tinta precursora de haluro de plomo, en donde la preparación de una tinta precursora de haluro de plomo comprende los pasos siguientes:

5 introducir un haluro de plomo en un vial;

introducir un primer disolvente en el vial, en donde el primer disolvente se selecciona del grupo que consiste en N-ciclohexil-2-pirrolidona, alquil-2-pirrolidona, dimetilformamida, dialquilformamida, dimetilsulfóxido (DMSO), metanol, etanol, propanol, butanol, tetrahidrofurano, formamida, terc-butilpiridina, piridina, alquilpiridina, pirrolidina, clorobenceno, diclorobenceno, diclorometano, cloroformo y combinaciones de estos;

10 poner en contacto el haluro de plomo con el primer disolvente para disolver el haluro de plomo; y

añadir agua directamente a la tinta precursora de haluro de plomo;

depositar la tinta precursora de haluro de plomo sobre un sustrato;

secar la tinta precursora de haluro de plomo para formar una película delgada; y

depositar un segundo disolvente y una sal sobre la película delgada.

15 2. El método de la reivindicación 1, en donde el haluro de plomo se selecciona del grupo que consiste en yoduro de plomo (II), bromuro de plomo (II), cloruro de plomo (II), fluoruro de plomo (II) y combinaciones de estos.

3. El método de la reivindicación 1, en donde el haluro de plomo comprende una mezcla de cloruro de plomo (II) y yoduro de plomo (II) mezclados en una proporción de 10 moles de cloruro de plomo (II) por 90 moles de yoduro de plomo (II).

20 4. El método de la reivindicación 1, en donde el contacto del haluro de plomo con el primer disolvente para disolver el haluro de plomo se produce entre aproximadamente 20 °C y aproximadamente 150 °C.

5. El método de la reivindicación 1, que comprende además calentar la película delgada y la sal a una temperatura entre aproximadamente 20 °C y aproximadamente 300 °C.

25 6. El método de la reivindicación 1, en donde la tinta precursora de haluro de plomo tiene una concentración de haluro de plomo entre 0,001 M y 10 M.

7. El método de la reivindicación 1, que comprende además el recocido de la película delgada, en donde el recocido de la película delgada ocurre durante hasta 24 horas a una temperatura entre aproximadamente 20 °C y aproximadamente 300 °C.

30 8. El método de la reivindicación 1, en donde la tinta precursora de haluro de plomo se deposita en una atmósfera que tiene una humedad relativa del 0 % al 50 %.

9. El método de la reivindicación 1, en donde la sal se selecciona del grupo que consiste en yoduro de metilamonio, yoduro de formamidinio, yoduro de guanidinio, yoduro de 1,2,2-triaminovinilamonio e hidroyoduro de ácido 5-aminovalérico.

35 10. El método de la reivindicación 1, en donde la sal se disuelve en el segundo disolvente en una concentración de entre 0,001 M y 10 M.

11. El método de la reivindicación 1, en donde el agua se introduce en el vial en una concentración de aproximadamente 1 µl de agua por 1 ml de haluro de plomo y disolvente a aproximadamente 100 µl de agua por 1 ml de haluro de plomo y disolvente.

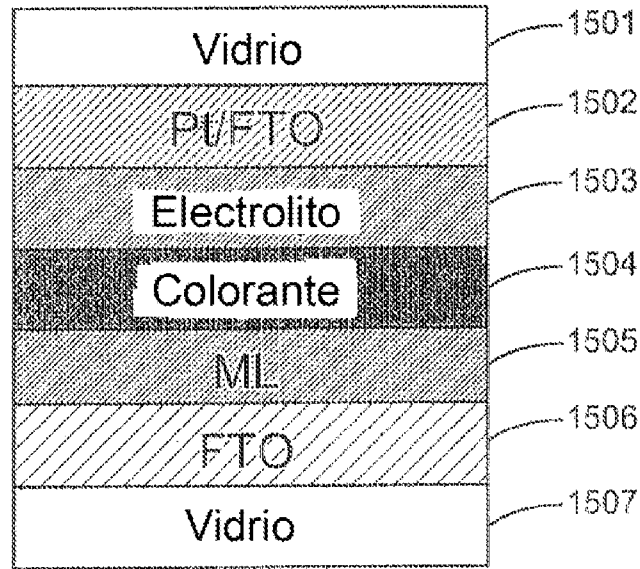


Fig. 1

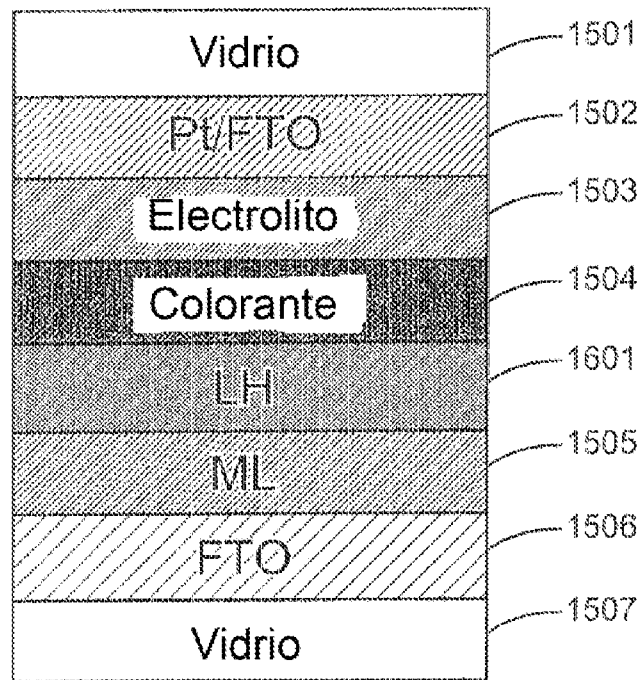


Fig. 2



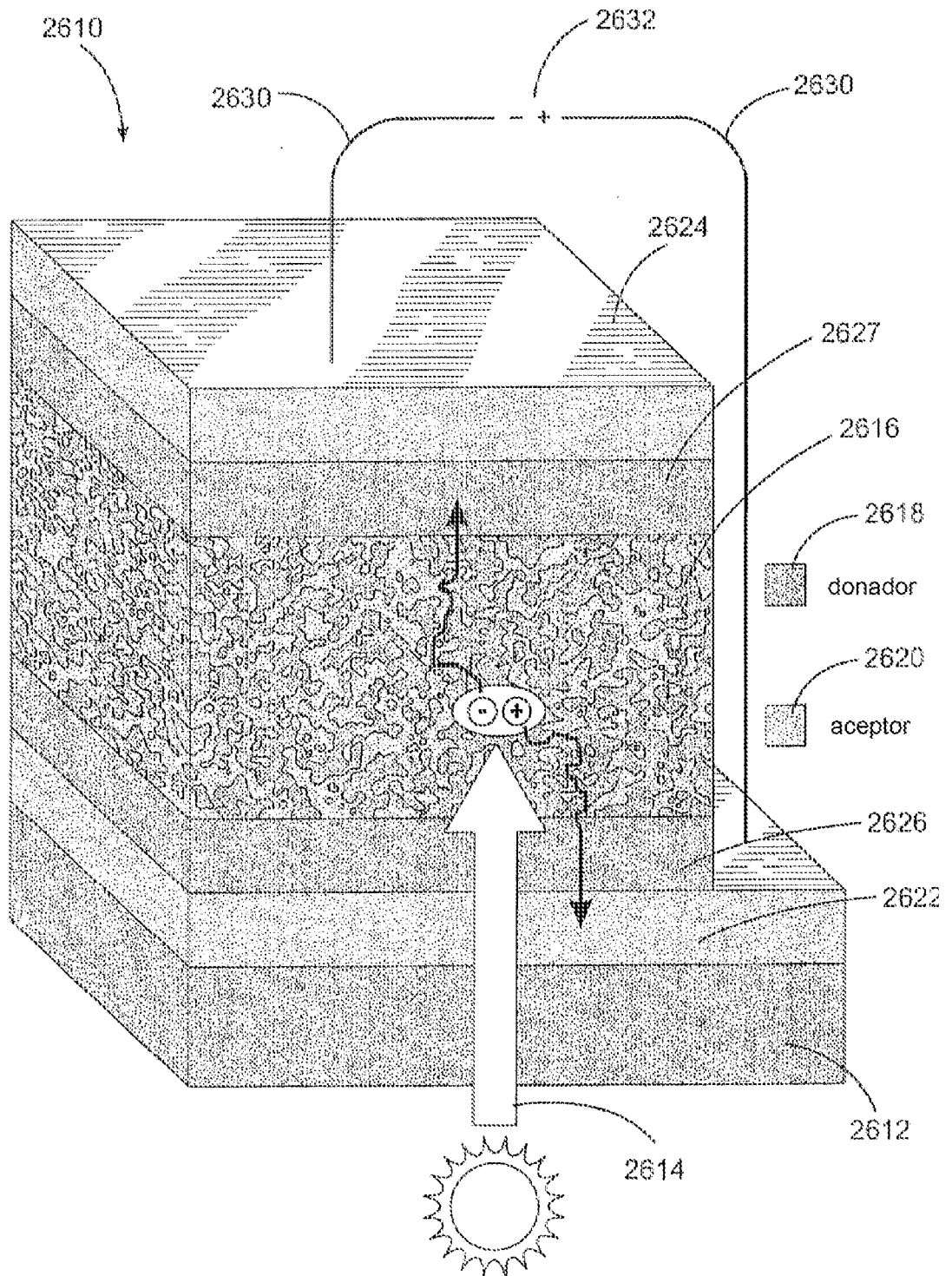


Fig. 4

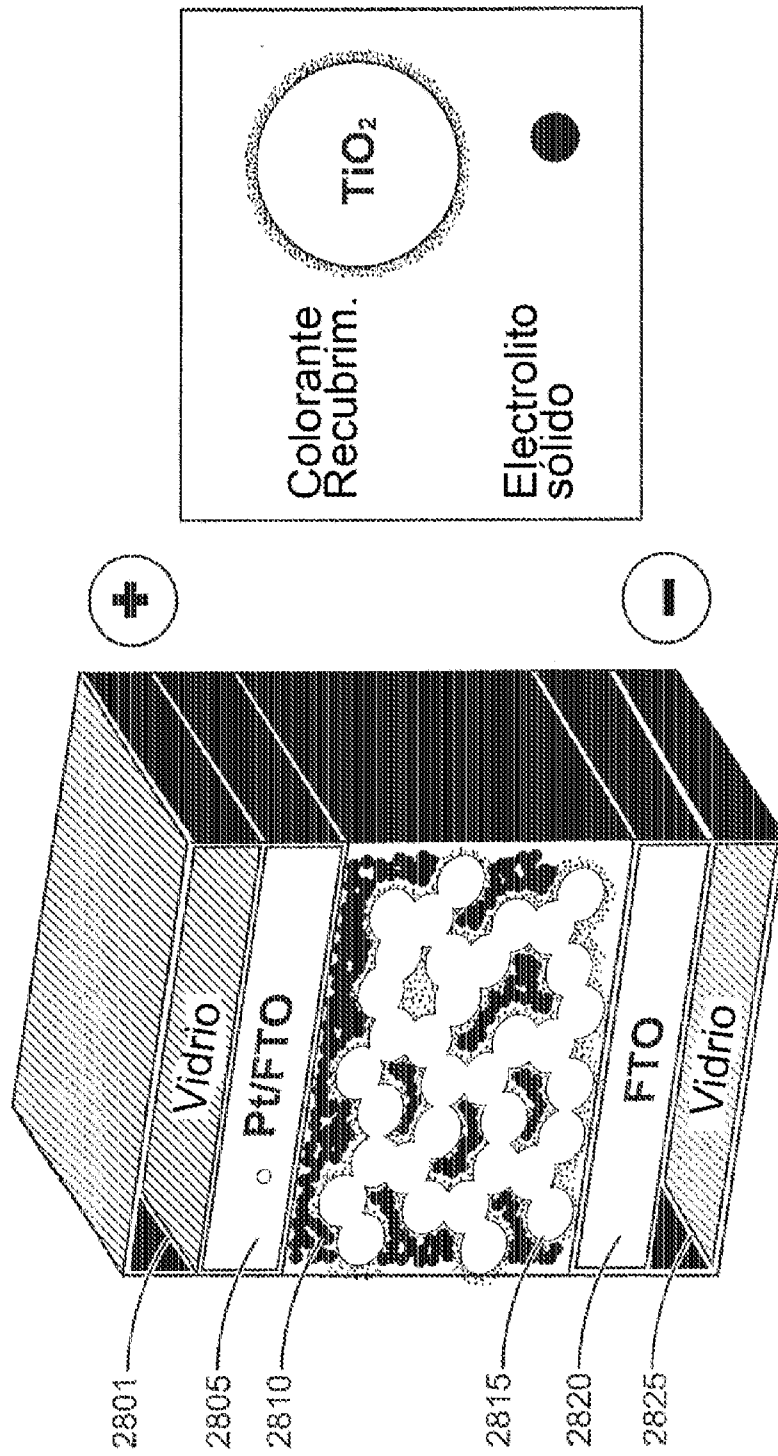


Fig. 5

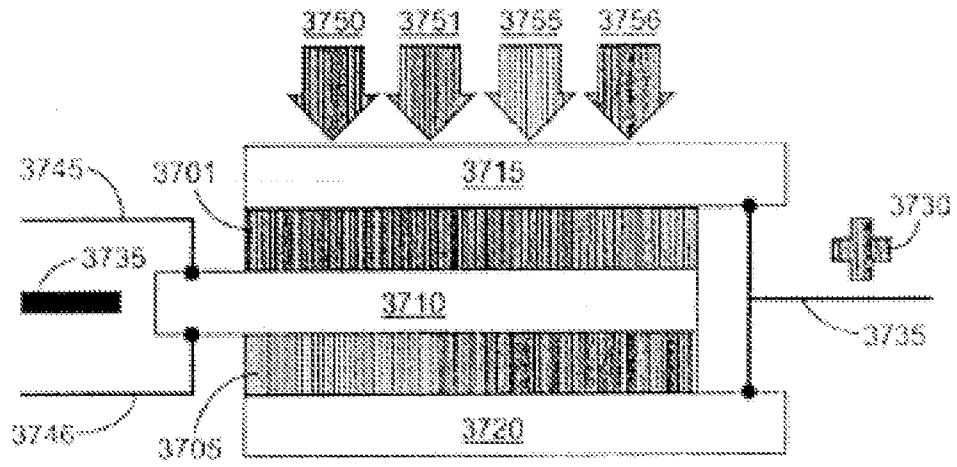


Fig. 6

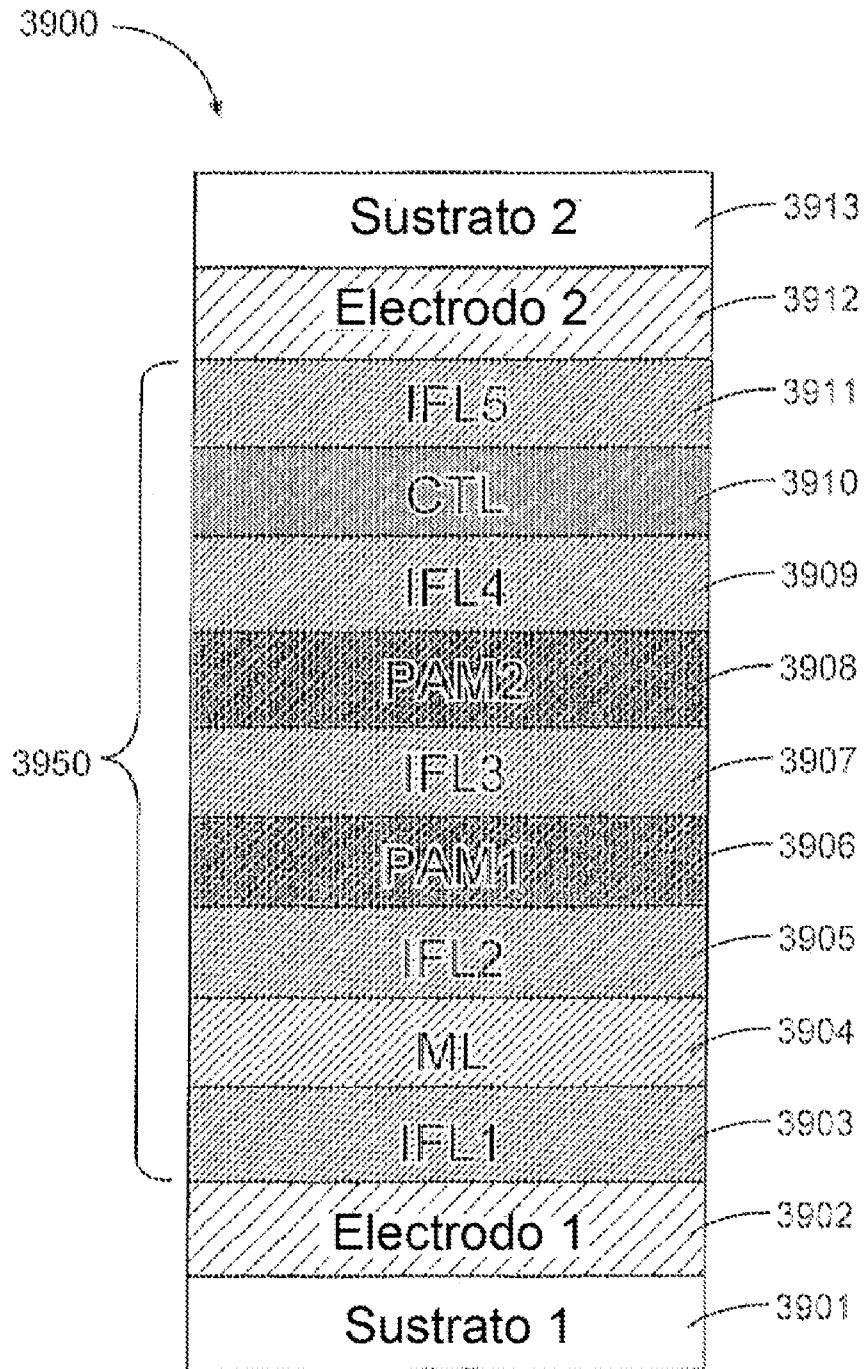


Fig. 7

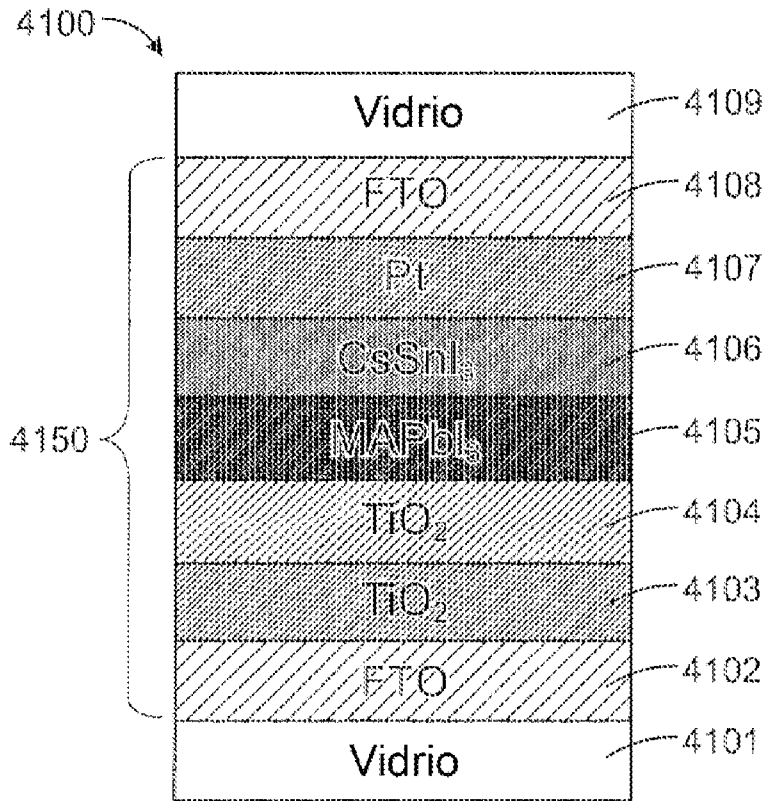


Fig. 8

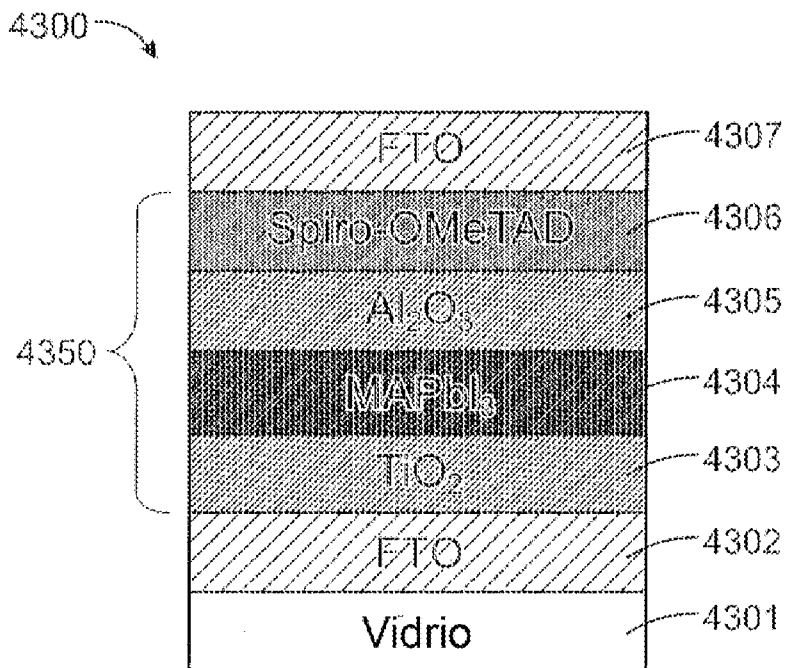


Fig. 9

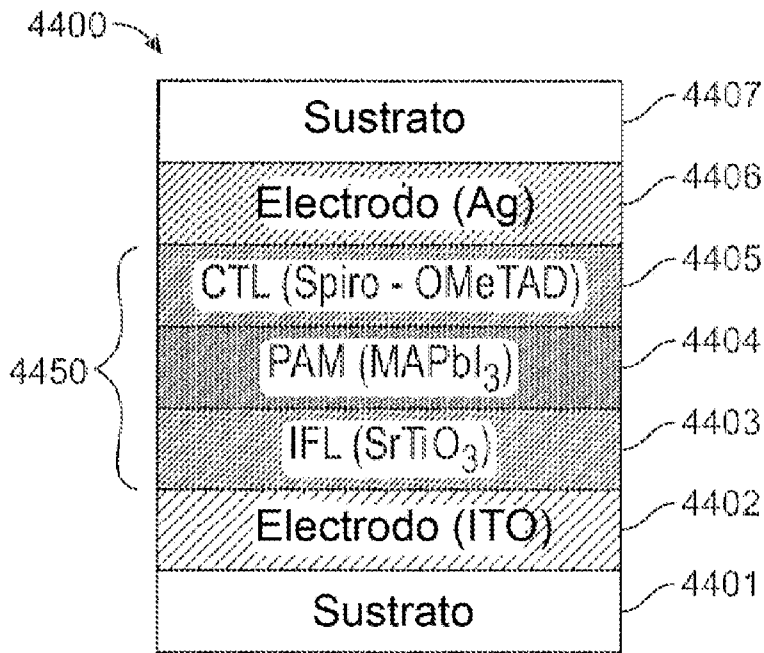


Fig. 10

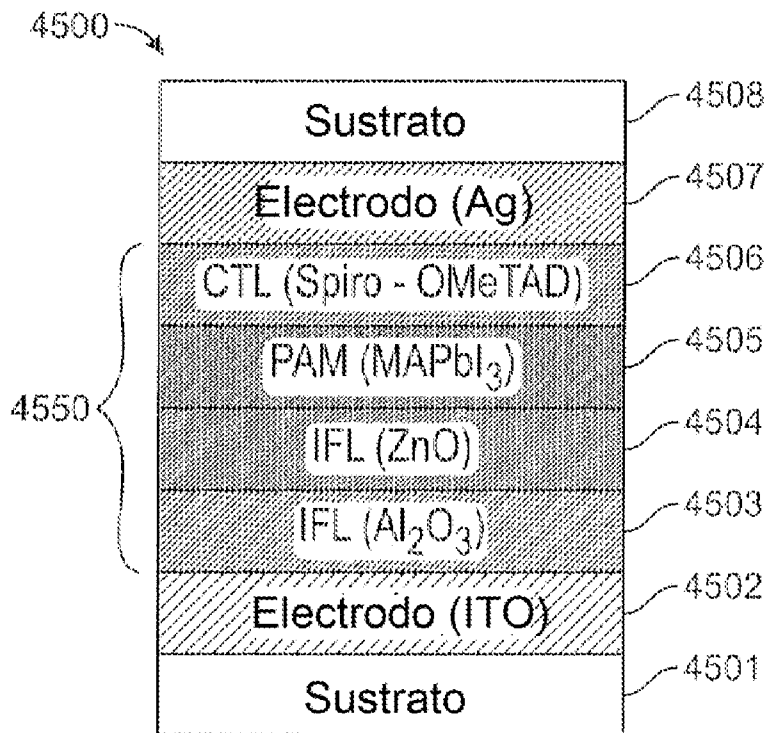


Fig. 11

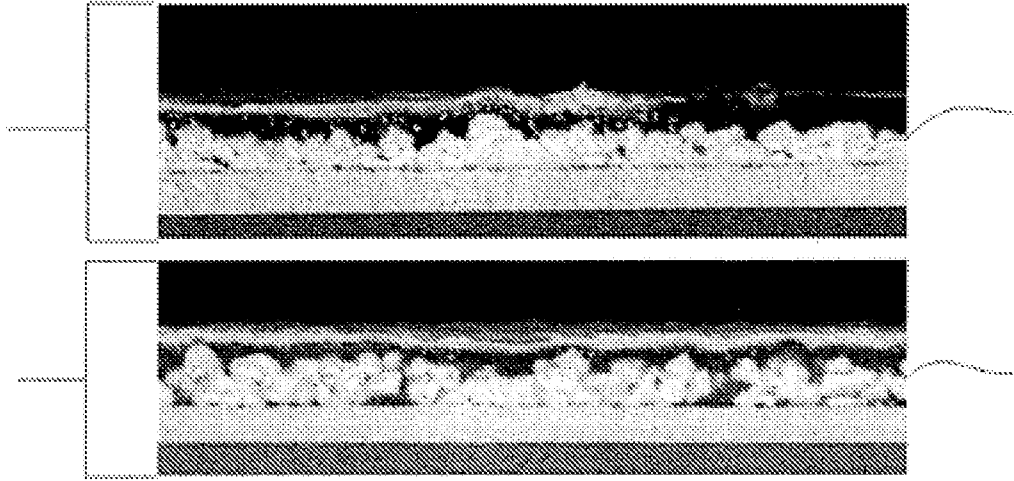


Fig. 12

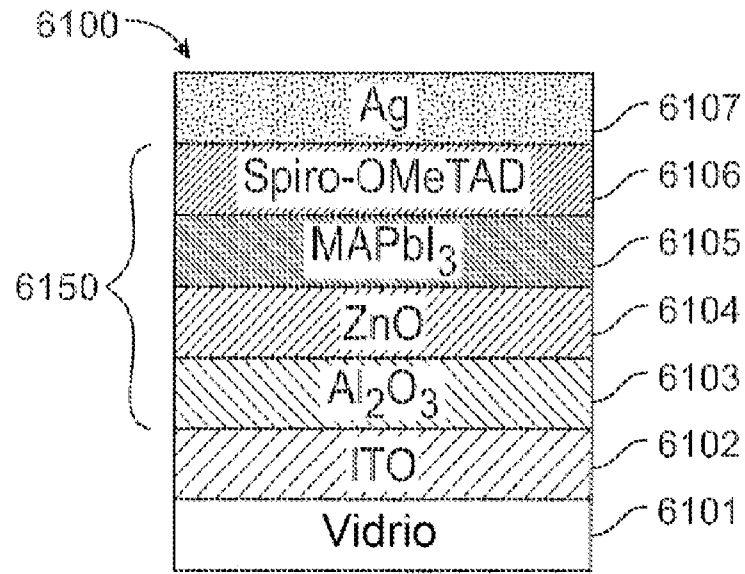


Fig. 13

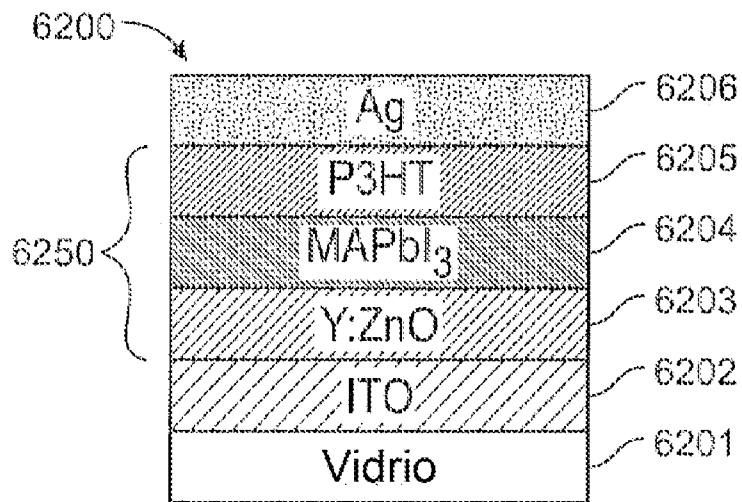


Fig. 14

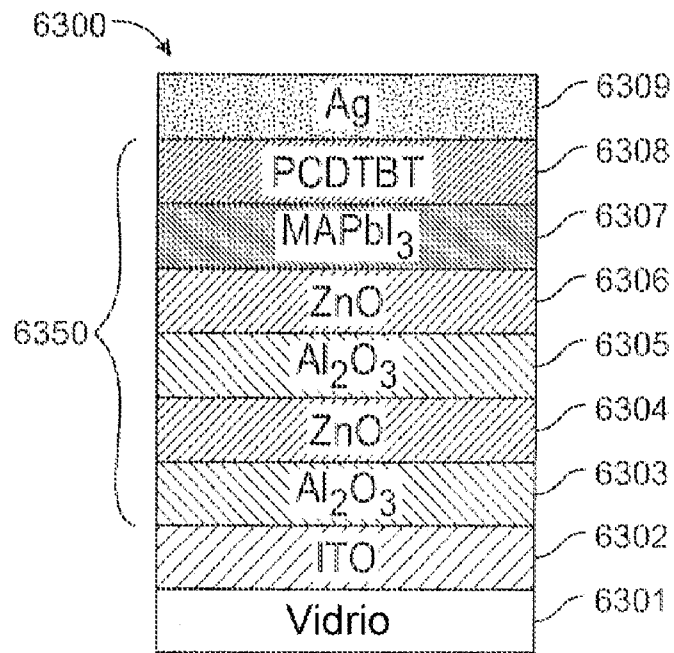


Fig. 15

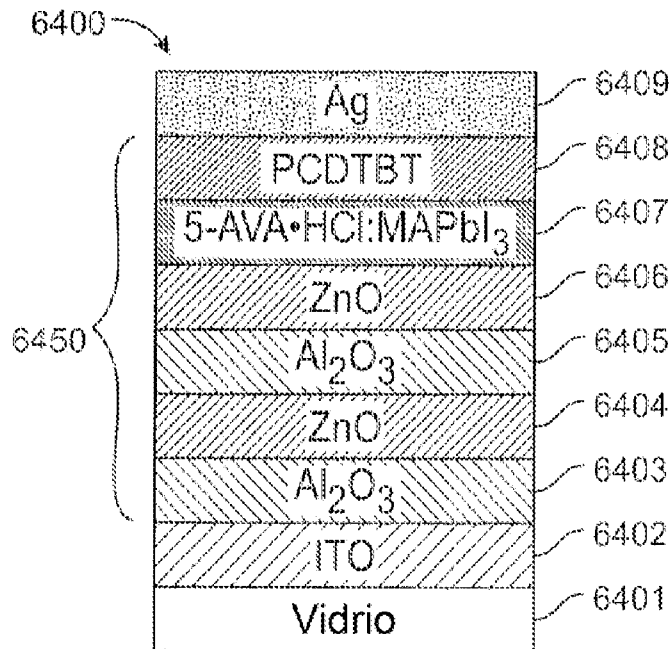


Fig. 16

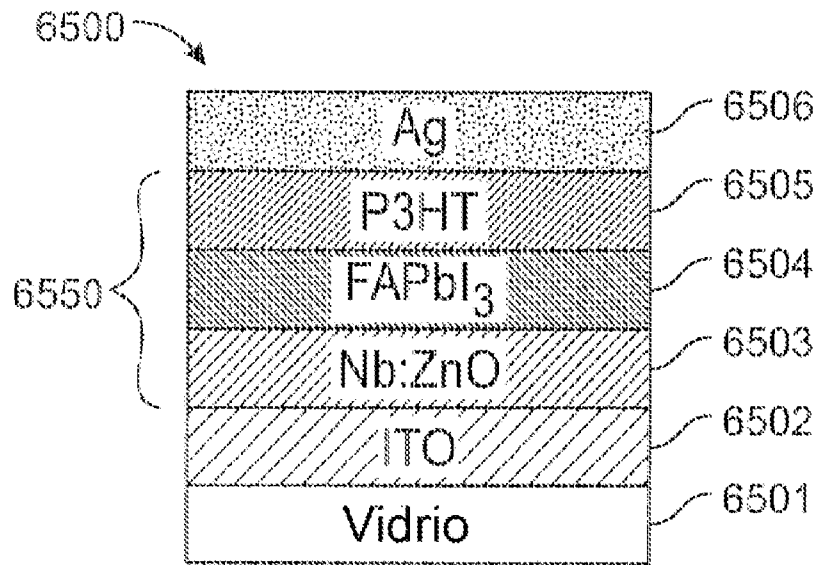


Fig. 17

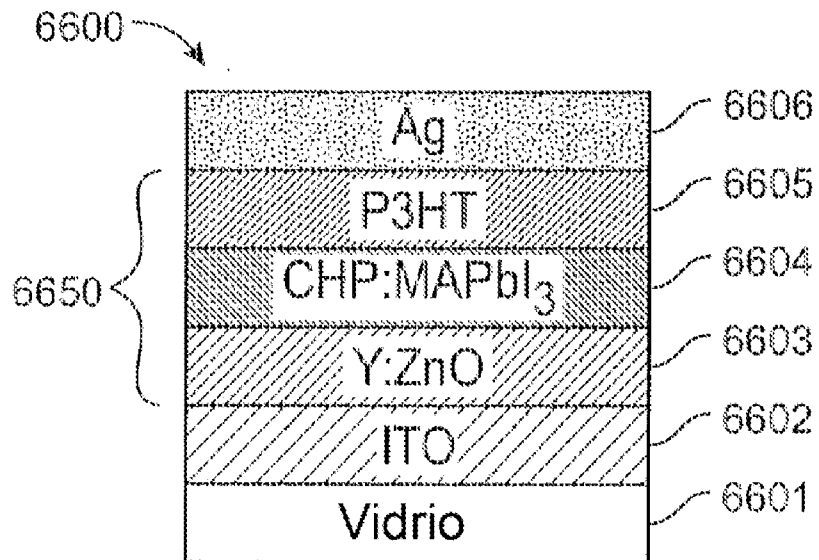


Fig. 18

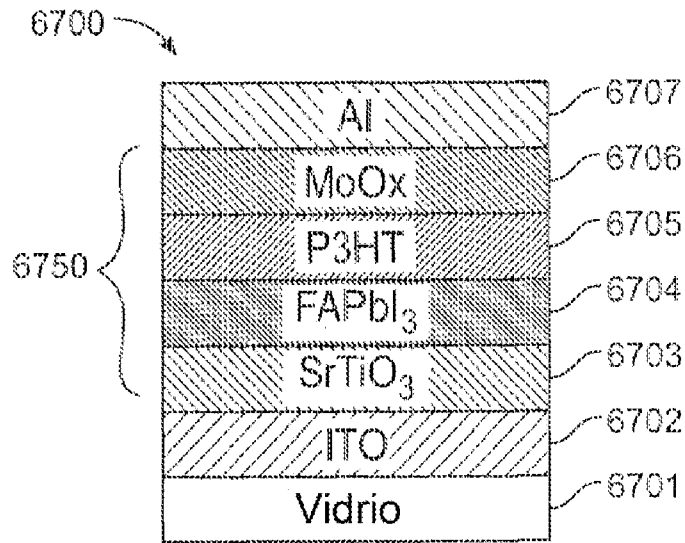


Fig. 19

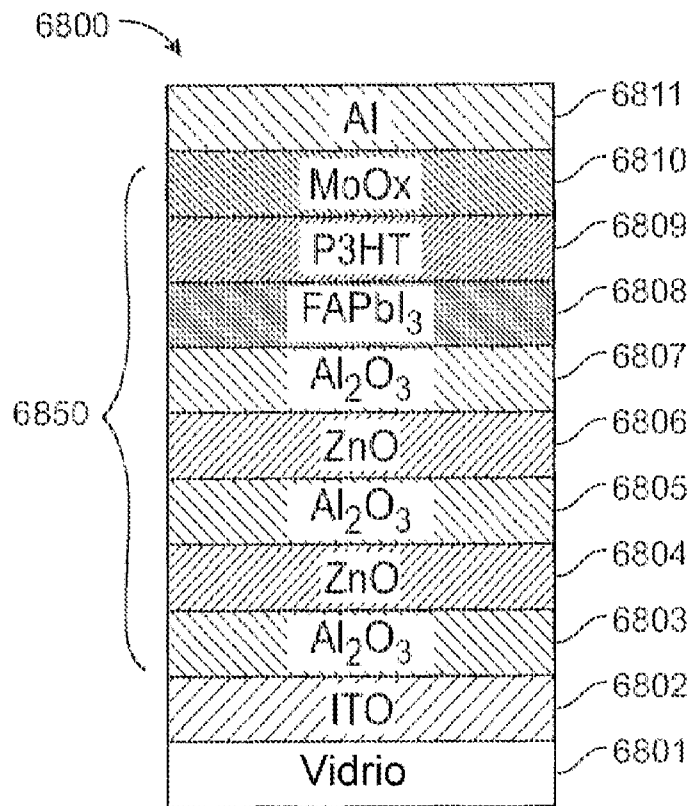


Fig. 20