(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 723 523**

(51) Int. Cl.:

H01L 27/30 (2006.01)
H01L 51/42 (2006.01)
H01L 51/05 (2006.01)
H01L 51/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.09.2010 PCT/US2010/050712**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2011 WO11041407**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2010 E 10771834 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.02.2019 EP 2483926**

(54) Título: **Dispositivos optoelectrónicos con la unión de punto cuántico-fullereno**

(30) Prioridad:

10.03.2010 US 312494 P
29.09.2009 US 246679 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.08.2019

(73) Titular/es:

RESEARCH TRIANGLE INSTITUTE (100.0%)
3040 Cornwallis Road
Research Triangle Park, NC 27709, US

(72) Inventor/es:

KLEM, ETHAN y
LEWIS, JOHN

(74) Agente/Representante:

COBO DE LA TORRE, María Victoria

ES 2 723 523 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

Dispositivos optoelectrónicos con la unión de punto cuántico-fullereno

Ámbito técnico

(0001) La invención presente hace referencia generalmente a heterouniones formadas por el punto cuántico y capas de fullereno, dispositivos optoelectrónicos basados en dichas heterouniones, y métodos para fabricar semejantes heterouniones y dispositivos optoelectrónicos.

Antecedentes

(0002) Los dispositivos optoelectrónicos incluyen dispositivos fotovoltaicos (PV) (células solares), fotodetectores y similares dispositivos, así como dispositivos electroluminiscentes (EL), tales como diodos emisor de luz (LEDs) y diodos láser (LDs). Un dispositivo PV genera energía eléctrica cuando la luz incide sobre su capa activa. Cuando la luz solar se utiliza como fuente de radiación electromagnética, al dispositivo PV se le puede hacer referencia como célula solar. En general, un dispositivo PV está basado en una unión formada por un par de dos tipos diferentes de semiconductores (por ejemplo, un material tipo n y un material tipo p, o un aceptador de electrones y material de donador de electrones). Cuando una energía de fotón es más alta que el valor del intervalo de banda del semiconductor, el fotón puede ser absorbido en el semiconductor y la energía de fotón excita una carga negativa (electrón) y una carga positiva (agujero). Para que el par de electrón-agujero excitado sea utilizado exitosamente en un circuito eléctrico externo, el electrón y el agujero tienen que ser primeramente separados antes de ser recolectados y extraídos por respectivos electrodos opuestos. Este proceso se denomina separación de carga y es necesario para que suceda el efecto fotovoltaico. Si las cargas no se separan pueden recombinarse y así no contribuyen a la corriente generada por el dispositivo PV. Un fotodetector opera similarmente a un dispositivo PV, pero está configurado para detectar la incidencia de la luz o medir la intensidad, atenuación o transmisión de la luz incidente. También, la operación de un fotodetector implica la aplicación de un voltaje de polarización externo mientras que la operación de un dispositivo PV no lo hace. Además, un fotodetector a menudo está diseñado para detectar sólo un estrecho rango de longitudes de onda (por ejemplo, un detector IR o un detector UV), mientras que un dispositivo PV normalmente está pensado para ser sensible para un rango de longitudes de onda lo más ancho posible para la generación máxima de energía eléctrica.

(0003) Los dispositivos optoelectrónicos también incluyen dispositivos de electroluminiscencia (EL), tales como diodos emisores de luz (LEDs) y diodos láser (LDs). En un sentido general, los dispositivos EL operan a la inversa de los dispositivos PV. Los electrones y agujeros están inyectados dentro del área del semiconductor desde los respectivos electrodos bajo la influencia de un voltaje de polarización aplicado. Una de las capas del semiconductor está seleccionada por sus propiedades emisoras de luz, más que por sus propiedades de absorción de luz. La recombinación de radiación de los electrones y de los agujeros inyectados causan la emisión de luz en esta capa. Muchos de los mismos tipos de materiales empleados en dispositivos PV pueden ser igualmente empleados en dispositivos EL, aunque el espesor de la capa y otros parámetros tienen que ser adaptados para lograr el diferente objetivo del dispositivo EL.

(0004) En dispositivos PV y dispositivos optoelectrónicos relacionados, la eficiencia con la cual se convierte la energía óptica se convierte a energía eléctrica es una figura clave de mérito. Otro criterio relacionado con la ejecución es el voltaje de circuito abierto V_{OC}, el voltaje máximo posible cuando el dispositivo PV es irradiado sin ser conectado a ninguna carga externa. Otro criterio relacionado con la ejecución es la corriente de circuito corto J_{SC}, la corriente máxima posible cuando el dispositivo PV es irradiado y conectado eléctricamente a una carga de resistencia cero. Otro criterio relacionado con la ejecución es la eficiencia cuántica, que incluye tanto la eficiencia cuántica externa (EQE), como la eficiencia cuántica interna (IQE). EQE corresponde al porcentaje de los fotones incidentes totales que son convertidos a corriente eléctrica, y IQE corresponde al porcentaje de los fotones absorbidos totales que son convertidos a corriente eléctrica. Otro criterio relacionado con la ejecución es la eficiencia de la conversión de la energía, que corresponde al porcentaje de la energía óptica incidente que se puede usar como energía eléctrica.

(0005) Además, la movilidad del portador de carga dentro de las capas constituyentes es una propiedad de material clave que afecta a la ejecución del dispositivo. La movilidad del portador de carga es una propiedad del material que describe la velocidad de un portador de carga en la presencia de un campo eléctrico. En dispositivos PV un valor mayor de movilidad significa que los portadores de carga se mueven más libremente y puede ser extraído del dispositivo con más eficiencia. Esto conduce a una ejecución del dispositivo mayor comparado con dispositivos con una movilidad del portador de carga más baja. Una propiedad relacionada es la longitud de difusión del excitón. Esta es una propiedad de material que describe la distancia de promedio que un excitón (un par de electrón-agujero) recorre antes de que los portadores de carga se recombinen. En un dispositivo PV, en el cual los excitones tienen una función importante, un valor mayor significa que hay una probabilidad más alta de que los excitones fotogenerados alcancen un área de separación de carga antes de la recombinación, y además conduce a una ejecución del dispositivo mayor que un dispositivo PV con una longitud de difusión de excitón más baja.

(0006) Mientras que la movilidad y la difusión del excitón son propiedades separadas, sus valores están

influenciados por similares atributos de material. Por ejemplo, los defectos, los sitios de atrapamiento de cargas, y los límites de grano inhiben el transporte del portador y causan una movilidad más baja, así como una longitud de difusión del excitón más baja. Mientras que la movilidad mejorada se discute a lo largo de este documento, se entiende que resultados similares se obtienen para la longitud mejorada de difusión del excitón.

(0007) Normalmente, los dispositivos PV y otros dispositivos optoelectrónicos han utilizado materiales semiconductores inorgánicos a granel y de película fina para proporcionar uniones p-n para electrones y agujeros de separación, en respuesta a la absorción de los fotones. En particular, las uniones electrónicas están normalmente formadas por varias combinaciones de silicio dopado intrínseco del tipo p y del tipo n. Las técnicas de fabricación para semejantes semiconductores inorgánicos son conocidas pues se derivan de muchos años de experiencia y conocimiento en microelectrónica. No obstante, estas técnicas de fabricación son caras. El crecimiento del cristal exitoso requiere la minimización de los defectos y las impurezas indeseadas, así como el dopaje preciso de las impurezas pretendidas para conseguir las funciones deseadas, en una cámara de deposición de alto vacío, libre de contaminación bajo condiciones de operación controladas con precisión. Los materiales del grupo III-V tales como arseniuro de galio (GaAs) y $Al_xGa_yIn_zN$ ($x + y + z = 1,0 \leq x \leq 1,0 \leq y \leq 1,0 \leq z \leq 1$), así como compuestos que incluyen silicio, tales como carburo de silicio (SiC) y silicio-germanio (SiGe), también han sido utilizados, pero tienen los mismos problemas. Otros materiales inorgánicos tales como silicio amorfo, silicio policristalino, telururo de cadmio (CdTe), diselenuro de indio cobre ($CuInSe_2$ ó CIS) y diselenuro de indio/galio cobre ($CuIn_xGa_{(1-x)}Se_2$ ó CIGS) pueden ser menos caros en su fabricación que el silicio monocristalino, pero son menos eficientes y aún requieren un procesamiento de grado semiconductor caro que aún no ha reducido los costes suficientemente para alcanzar la paridad con fuentes de electricidad tradicionales.

(0008) Más recientemente, los dispositivos optoelectrónicos formados de materiales orgánicos (polímeros y moléculas pequeñas) están siendo investigadas, pero han tenido un éxito limitado. La región activa en estos dispositivos está basada en una heterounión formada por una capa de donante de electrón orgánico y una capa de aceptador de electrón orgánico. Un fotón absorbido en la región activa excita un excitón, un par de electrón-agujero en un estado enlazado que puede ser transportado como casi-partícula. El excitón fotogenerado es separado (disociado o “ionizado”) cuando se difunde a la interfaz de heterounión. Similarmente al caso de los dispositivos PV inorgánicos, es deseable separar tantos excitones fotogenerados como sea posible y recolectarlos en los respectivos electrodos antes de que se recombinen. Por ello, puede ser ventajoso incluir capas en la estructura del dispositivo que ayuden a confinar los excitones para cargar las regiones de separación. Estas capas también pueden servir para ayudar a transportar un tipo de portador de carga a un electrodo, mientras que se bloquean otros portadores de carga, así mejorando la eficiencia de la extracción del portador de carga.

(0009) Mientras que muchos tipos de capas de semiconductor orgánicas pueden ser fabricadas a un coste relativamente bajo, su eficiencia de conversión de la energía ha sido más baja que los semiconductores inorgánicos, debido en parte a las longitudes cortas de difusión del excitón. Además, la mayoría de las capas de semiconductor orgánicas son inefectivas para la captura de fotones infrarrojos (IR), que es desventajosa habida cuenta que la radiación IR constituye una parte significante de la radiación disponible para la conversión a electricidad o a otros colores de luz. Tanto como el 50% ó más de la radiación solar son longitudes de onda más largas que 700 nm. Además, los materiales orgánicos a menudo son propensos a la degradación por la radiación UV o el calor.

(0010) Incluso más recientemente, los puntos cuánticos (QDs) o nanocristales han sido investigados para su uso en dispositivos optoelectrónicos porque varias especies muestran sensibilidades IR y sus propiedades optoelectrónicas (por ejemplo, intervalos de banda) son sintonizables mediante el control de sus tamaños. Hasta ahora, los QDs han sido empleados en dispositivos optoelectrónicos prototipos casi siempre como capas individuales para realizar una función específica, tal como la emisión visible o de IR, absorción visible o IR ó desplazamientos al rojo (ingles: “red-shifting”). Además, los dispositivos optoelectrónicos que incorporan QDs normalmente han mostrado una movilidad de portador baja y una longitud de difusión corta.

(0011) Un reportaje reciente por Dissanayake et al., “Medida y validación de niveles de energía del nanocristal PbS” (en inglés: “Measurement and validation of PsB nanocrystal energy levels”), Appl. Phys. Lett. 93, 043501 (2008), describe el uso de una heterounión entre los nanocristales PbS (PbS-NCs) y C_{60} fullerenos para verificar la alineación de la energía de banda de la capa PbS-NC. En este estudio, la capa PbS-NC fue fundida hilada desde el tolueno a una capa de amortiguación de poli(3,4-etileno-dioxi-tiofeno)-poli(estinerno-sulfonato) (PE-DOT: PSS), y la capa de fullereno subsecuentemente se evaporó por arriba. Después de esto, siguió una capa de batocuproina (BCP) y un electrodo de aluminio. La estructura fue probada en un modo fotovoltaico y proporcionó un modesto J_{SC} de ~ 2 mA/cm^2, un V_{OC} de ~ 250 mV, y por ello, una eficiencia de conversión de energía total de aproximadamente 0.25%. No se hicieron sugerencias para métodos o enfoques para mejorar la ejecución de este dispositivo.

(0012) Hay una continua necesidad de dispositivos optolelectrónicos con propiedades de material mejoradas y parámetros relacionados con la ejecución, tales como una separación de carga más eficiente, una mayor movilidad del portador de carga, voltajes de circuitos abiertos más altos, longitudes de difusión más larga, eficiencia de conversión de energía más alta, y sensibilidad ajustable a un rango deseado de un espectro electromagnético. También hay una necesidad de un coste más bajo, de métodos más fiables y más sencillos para fabricar semejantes dispositivos optoelectrónicos.

(0013) En el documento de Dissanayake et al., “La fabricación y el análisis de un nanocristal PbS: sistema fotovoltaico híbrido de doble capa C60” (en inglés: “The fabrication and analysis of a PbS nanocrystal: C60 bilayer hybrid photovoltaic system”), nanotecnología 20 (2009) 245202, se presenta una estructura de capa fotovoltaica. Se deposita y se recuece una capa PEDOT:PSS encima de un cristal revestido ITO. Encima de esta capa sigue una película de nanocristales PbS. Después, una capa C_{60} se deposita usando la deposición de vapor sobre la cual se deposita un electrodo superior de aluminio.

(0014) Los autores Dissanayake et al. describen en “Orgánica: PbS-nanocristal: fotovoltaicas híbridas de fullereno” (en inglés: “Organic:PbS-nanocrystal: Fullerene Hybrid Photovoltaics”), Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 1102 (2008), el mismo sistema de capa que en el artículo previo.

(0015) El documento US 2009/101953 A1 sugiere un elemento de conversión fotoeléctrico y un dispositivo de imagen de estado sólido que tienen un primer electrodo transparente y un segundo electrodo, una capa de electrodo, y una capa fotoactiva. Al menos, parte de la capa de conversión fotoeléctrica incluye una capa de mezcla de un semiconductor orgánico de tipo p y un fullereno.

Resumen

(0016) La invención está definida en las reivindicaciones 1ª y 8ª, respectivamente. Configuraciones particulares están establecidas en las reivindicaciones dependientes.

(0017) Para resolver los problemas siguientes, en su totalidad o en parte, y/u otros problemas que puedan haber sido observados por personas expertas en la técnica, la manifestación presente provee métodos, procesos, sistemas, aparatos, instrumentos y/o dispositivos, como se describen por medio de ejemplos en configuraciones establecidas más abajo.

(0018) Según una configuración, un dispositivo optoelectrónico incluye un primer electrodo, una capa de punto cuántico dispuesta en el primer electrodo incluyendo una multitud de puntos cuánticos, una capa de fullereno dispuesta directamente en la capa del punto cuántico, en tanto que la capa del punto cuántico y la capa de fullereno forman una heterounión electrónica, y un segundo electrodo dispuesto en la capa de fullereno. En otra configuración, la capa de puntos cuánticos o la capa de punto cuántico puede ser modificada para mostrar una movilidad de portador de carga alta.

(0019) Una capa de bloqueo del electrón está interpuesta entre el primer electrodo y la capa del punto cuántico. La capa de bloqueo del electrón es una capa discontinua.

(0020) Según otra configuración, un dispositivo optoelectrónico incluye una unión de punto cuántico-fullereno, en la cual la capa de punto cuántico muestra una movilidad de portador de carga mayor que 1×10^{-4} V/cm^2-sec.

(0021) Según otra configuración, un dispositivo optoelectrónico incluye una unión de punto cuántico-fullereno, en la cual la capa de punto cuántico muestra una movilidad de portador de carga mayor que 5×10^{-4} V/cm^2-sec.

(0022) Según otra configuración, un dispositivo optoelectrónico incluye una unión de punto cuántico-fullereno, en la cual la capa de punto cuántico muestra una movilidad de portador de carga en un ámbito mayor de 1×10^{-4} V/cm^2-sec a 10 V/cm^2-sec.

(0023) En algunas configuraciones, al menos, algunos de los puntos cuánticos tienen una configuración de núcleo-cubierta que incluyen un núcleo de una primera composición y una cubierta de una segunda composición diferente de la primera composición.

(0024) En algunas configuraciones, la capa del punto cuántico y/o la capa de fullereno incluyen un material matriz en el cual los puntos cuánticos están dispersados.

(0025) En algunas configuraciones, el dispositivo optoelectrónico incluye además un substrato en el cual está dispuesto el primer eletrodo. En varias configuraciones, el substrato tiene una composición de cristal, cerámica, polímero, material diélectrico, semiconductor, metal, compuesto que incluye metal o aleación que incluye metal.

(0026) Según otra configuración, un dispositivo optoelectrónico incluye un primer electrodo, una capa de punto cuántico dispuesta en el primer electrodo, una capa de fullereno dispuesta directamente en la capa de punto cuántico, y un segundo electrodo dispuesto en la capa de fullereno. La capa del punto cuántico incluye una multitud de puntos cuánticos y tiene una movilidad de portador de carga mayor que 1×10^{-4} V/cm^2-sec. La capa del punto cuántico y la capa de fullereno forman una heterounión electrónica.

(0027) Según otra configuración, un dispositivo optoelectrónico incluye un primer electrodo, una capa de punto cuántico dispuesta en el primer electrodo, una capa de fullereno dispuesta directamente en la capa de punto cuántico, y un segundo electrodo dispuesto en la capa de fullereno. La capa del punto cuántico incluye una multitud de puntos cuánticos y tiene un distanciamiento de interpartícula de 2 nm o menos. La capa del punto cuántico y la capa de fullereno forman una heterounión electrónica.

(0028) Según otra configuración, un método se provee para fabricar un dispositivo optoelectrónico. Una capa de punto cuántico se deposita en un electrodo, comprendiendo la capa de punto cuántico una multitud de puntos cuánticos. Una capa de fullereno se deposita directamente en la capa del punto cuántico, en tanto que la capa del punto cuántico y la capa de fullereno forman una heterounión electrónica.

(0029) Según otra configuración, una capa de bloqueo de electrón se forma en el electrodo, y la capa de punto cuántico está formada en la capa de bloqueo de electrón. En algunas configuraciones, la efectividad de la capa de bloque de electrón puede ser mejorada sometiendo la capa de bloqueo de electrón a un tratamiento de oxidación o tratamiento de reducción, de manera que se recuece la capa de bloque de electrón en varias atmósferas de oxidación o reductoras o se expone la capa de bloqueo de electrón a un plasma de oxidación o de reducción.

(0030) Según otra configuración, los puntos cuánticos y/o la capa de fullereno están dispersados en una matriz.

(0031) Según otra configuración, un electrodo adicional está formado en la capa de fullereno.

(0032) Según otra configuración, un método se provee para fabricar un dispositivo optoelectrónico. Una capa de punto cuántico se deposita en un electrodo, comprendiendo la capa de punto cuántico una multitud de puntos cuánticos. La capa de punto cuántico está tratada químicamente después de haber sido depositada en el electrodo para producir una movilidad de portador de carga aumentada. La movilidad de portador de carga puede ser mayor que 1 x 10^{-4} V/cm^2-sec. Una capa de fullereno se deposita directamente en la capa de punto cuántico, en tanto que la capa de punto cuántico y la capa de fullereno forman una heterounión electrónica.

(0033) Según otra configuración, la capa de punto cuántico es tratada con una química que reduce un distanciamiento de interpartícula entre los puntos cuánticos. En algunas configuraciones, el distanciamiento de interpartícula resultante es de 2 nm o menos.

(0034) Según otra configuración, la capa de punto cuántico es tratada con una química que reduce el espesor como se deposita de la capa del punto cuántico. En algunas configuraciones, el espesor es reducido en el 20% hasta el 80%.

(0035) Otros dispositivos, aparatos, sistemas, métodos, características y ventajas de la invención serán o se convertirán en evidentes para la persona experta en la técnica al examinar los siguientes dibujos y la descripción detallada.

(0036) La invención puede ser entendida mejor haciendo referencia a las figuras. Los componentes en las figuras no son necesariamente en escala, sin embargo, se pone el énfasis en ilustrar los principios de la invención. En las figuras, los números de referencia designan las correspondientes partes a lo largo de las diferentes vistas.

Figura 1 es una vista transversal esquemática de un ejemplo de un dispositivo optoelectrónico según ciertas configuraciones de la manifestación presente.

Figura 2 es una vista transversal esquemática de otro ejemplo de un dispositivo optoelectrónico según ciertas configuraciones de la manifestación presente.

Figura 3 es un esquema de la densidad actual como una función de voltaje bajo condiciones oscuras e iluminadas para un ejemplo de un dispositivo fotovoltáico fabricado según una configuración de la manifestación presente.

Figura 4A es una imagen SEM de una estructura compuesta que incluye un punto cuántico/ una heterounión de fullereno fabricados según la manifestación presente.

Figura 4B es una imagen SEM similar a la Figura 4A, pero en la cual los puntos cuánticos han sido tratados según la técnica manifestada aquí.

Descripción detallada

(0037) Con la finalidad de la manifestación presente, se entiende que cuando a una capa (o película, región, substrato, componentes, dispositivo o similar) se le hace referencia como que está “en” ó “encima de” otra capa, esa capa puede estar directamente o realmente en (o encima de) la otra capa, o alternativamente, pueden estar presentes también capas que intervienen (por ejemplo, capas amortiguadoras, capas de transición, capas intermedias, capas de sacrificio, capas de detención del grabado, máscaras, electrodos, interconexiones, contactos o similares). Una capa que está “directamente en” otra capa significa que no hay presente ninguna capa interventora, a no ser que sea indicado de otro modo. También se entiende que cuando se hace referencia a una capa que está “en” (o “encima”) de otra capa, esa capa puede cubrir la superficie entera de la otra capa o sólo una parte de la otra capa. Además, también se entiende que término tales como “formada en” ó “dispuesta en” no pretenden indicar ninguna limitación relativa a métodos particulares del transporte de material, deposición, fabricación, tratamiento de la superficie o unión o interacción física, química o iónica.

(0038) Como se ha usado aquí, el término “dispositivo optoelectrónico” generalmente hace referencia a cualquier

dispositivo que actúe como transductor eléctrico a óptico. Correspondientemente, el término “dispositivo optoelectrónico” puede hacer referencia a, por ejemplo, un dispositivo fotovoltaico (PV) (por ejemplo, una célula solar), un fotodetector, una célula termovoltaica, o un dispositivo electroluminiscente (EL), tales como una LED ó una LD.

(0039) Como se usa aquí, el término “fullereno” hace referencia al buckminsterfullereno C_{60}, así como a otras formas de carbono molecular, tales como C_{70}, C_{84}, y similares estructuras de carbono a modo de jaulas, y más en general pueden estar en el ámbito de 20 a varios cientos de átomos de carbono, por ejemplo, C_n en el cual *n* es 20 o mayor. El fullereno puede ser funcionalizado o modificado químicamente como se desee para una finalidad específica como, por ejemplo, mejorar la solubilidad o dispersabilidad o modificar las propiedades eléctricas del fullereno. El término “fullereno” también puede hacer referencia a fullerenos endoédricos, en los cuales un átomo no-carbono o una agrupación atómica está incluida en la jaula de carbono. El término “fullereno” puede referirse también a los derivados del fullereno. Unos cuantos ejemplos no-limitantes de derivados del fullereno son [6,6]-fenilo- C_{61}-butírico-ácido-metilo-éster (PCBM) y fenilo- C_{61}-butírico-ácido-colesterilo-éster (PCBCR). El término “fullereno” puede hacer referencia también a mezclas de las formas de fullereno previamente mencionadas.

(0040) Como se usa aquí, el término “punto cuántico” o “QD” hace referencia a un material de nanocristal semiconductor en el cual los excitones están confinados en tres dimensiones espaciales, distinguidas como alambres cuánticos (confinación cuántica en sólo dos dimensiones), pozos cuánticos (confinación cuántica en sólo una dimensión) y semiconductores a granel (no confinados). Además, muchas propiedades ópticas, eléctricas y químicas del punto cuántico pueden depender mucho de su tamaño, y por ello, semejantes propiedades pueden ser modificadas o ajustadas controlando su tamaño. Un punto cuántico generalmente puede estar caracterizado como una partícula, la forma de la cual puede ser esferoidal, elipsoidal, o tener otra forma. El “tamaño” del punto cuántico puede referirse a una característica de dimensión de su forma o una aproximación de su forma, y así puede ser un diámetro, un eje mayor, una longitud predominante, etc. El tamaño de un punto cuántico está en el orden de los nanómetros, por ejemplo, generalmente en el ámbito entre 1-1000 nm, pero más convencionalmente en el ámbito de 1-100 nm, 1-20 nm ó 1-10 nm. En una multitud o conjunto de puntos cuánticos, los puntos cuánticos pueden ser caracterizados por tener un tamaño medio. La distribución del tamaño de una multitud de puntos cuánticos puede ser o puede no ser monodispersa. El punto cuántico puede tener una configuración de núcleo-cubierta, en la cual el núcleo y la cubierta que lo rodea puede tener composiciones distintas. El punto cuántico puede incluir también ligandos unidos a la superficie exterior, o puede ser funcionalizada con otros restos químicos para una finalidad específica.

(0041) Como se usa aquí, el término “heterounión electrónica” hace referencia a dos capas de materiales disimilares yuxtapuestos y en contacto directo una con la otra. Una capa sirve como un donante de electrón, mientras que la otra capa sirve como un aceptador de electrón. El término “heterounión electrónica” comprende el término “heterounión fotovoltaica”, pero también se refiere a una heterounión como puede ser empleada en un dispositivo EL, en el cual una capa sirve como capa emisora de luz en respuesta a una desintegración del excitón a su estado no excitado.

(0042) La Figura 1 es una vista esquemática transversal de un ejemplo de un dispositivo optoelectrónico (100) según ciertas configuraciones de la manifestación presente. En este ejemplo específico, el dispositivo optoelectrónico (100) opera como un dispositivo fotovoltaico (PV) (por ejemplo, célula solar), aunque algunas personas expertas en la técnica apreciarán que el dispositivo optoelectrónico (100) pueda ser adaptado para funcionar como otro tipo de dispositivo optoelectrónico. Generalmente, el dispositivo optoelectrónico (100) es un dispositivo optoelectrónico basado en una heterounión electrónica (104) formada por una capa de punto cuántico (QD) (108) directamente interconectado con una capa de fullereno (112). En esta heteroestructura de fullereno QD, la capa QD (108) sirve como una capa de donante de electrón (o transportadora de agujero) y la capa de fullereno (112) sirve como una capa de aceptador de electrón (o transportadora de electrón). La capa QD (108) es fotosensitiva, formando excitones en respuesta a la absorción de luz (116). La capa de fullereno (112) es también fotosensitiva, formando excitones en respuesta a la absorción de luz (116). En el caso de un dispositivo PV u otro tipo de dispositivo de absorción de luz, la capa QD (108) puede estar dispuesta en un electrodo (120) (sirviendo como un ánodo), la capa de fullereno (112) está dispuesta directamente en la capa QD (108), y un electrodo (124) (que sirve como un cátodo) puede ser dispuesto en la capa de fullereno (112). En una configuración convencional, el electrodo (120) está concebido para transmitir luz incidente (116) y por ello está compuesto de un material transparente. En este caso, al electrodo (120) se le puede hacer referencia como el electrodo frontal (recibiendo luz incidente (116)) y al otro electrodo (124) se le puede hacer referencia como el electrodo posterior. Convencionalmente, el electrodo (120) está provisto de una película fina o revestimiento que está dispuesto en un substrato adecuado (128). Si el substrato (128) está compuesto de un material transparente, el substrato (128) puede ser retenido en el dispositivo final como capa protectora. Alternativamente, el substrato (128) puede ser retirado por un proceso de eliminación adecuado como, por ejemplo, grabado en seco, grabado en húmedo, pulido (quimo)mecánico, laser “lift-off”, o similar. En otra configuración del dispositivo (100), el conductor (124) es en principio transparente, y el electrodo (120) puede ser o no transparente. En esta configuración, el substrato (128) puede ser o no transparente.

(0043) El dispositivo optoelectrónico (100) puede ser dispuesto en comunicación eléctrica con una carga eléctrica de consumición de energía o un dispositivo de almacenamiento (132) (por ejemplo, batería, circuito, dispositivo eléctrico, etc.), o alternativamente, una fuente de energía en el caso de un fotodetector, un dispositivo EL, o similar

– a través de líneas eléctricas (alambres, etc.) respectivamente conectadas al electrodo (120) y el electrodo (124) mediante medios de fijación apropiados. En la operación como dispositivo de absorción de luz, la luz (16) (o más generalmente, la energía electromagnética) que pasa a través del electrodo (120) induce a la fotogeneración de excitones (pares de electrón-agujero) en la capa QD (108). La luz también puede ser absorbida en la capa de fullereno (112), induciendo a los excitones fotogenerados a la capa de fullereno (112). Los excitornes son separados en electrones y agujeros en o cerca de la unión entre la capa QD (108) y la capa de fullereno (112). Los agujeros son transportados a través de la capa QD (108) al electrodo (120) y los electrones son transportados a través de la capa de fullereno (112) al electrodo (124). Como resultado, la corriente fluye a través de la carga o del dispositivo de almacenamiento (132). Como es apreciado por personas expertas en la técnica, el dispositivo optoelectrónico (100) puede incluir capas adicionales (no mostradas en la Figura 1) que facilitan la propagación rápida de los agujeros y los electrones a sus respectivos eletrododos (120 y 124) y/o reducen la probabilidad de recombinación electrón-agujero. También, el dispositivo optoelectrónico (100) o un conjunto interconectado de semejantes dispositivos (100) pueden ser empaquetados o encapsulados (no mostrado) como es requerido por cualquier medio adecuado conocido por personas expertas en la técnica.

(0044) La capa QD (108) incluye una multitud de puntos cuánticos (QDs). La capa QD (108) puede tener un espesor en el ámbito de 5 nm a 5 µm. En el contexto presente, el espesor está definido en la dirección vertical desde la perspectiva de la Figura 1, entendiéndose que no se pone limitación a la orientación particular del dispositivo optoelectrónico (100) relativa a cualquier constitución particular de referencia. En configuraciones convencionales a las presentes enseñanzas, los QDs están compuestos de materiales semiconductores inorgánicos. En un ejemplo aún no limitante ventajoso particularmente, los QDs son cristales o partículas de sulfuro de plomo (PbS). Más generalmente, los QDs pueden ser seleccionados de varios materiales de Grupo II-VI, Grupo I-III-VI, Grupo III-V, Grupo IV, Grupo IV-VI y Grupo V-VI. Los ejemplos incluyen, pero no están limitados a materiales de Grupo II-VI, tales como ZnS, ZnSe, ZnTe, ZnO, CdS, CdSe, CdTe, CdO, HgS, HgSe, HgTe, HgO, MgS, MgSe, MgTe, MgO, CaS, CaSe, CaTe, CaO, SrS, SrSe, SrTe, SrO, BaS, BaSe, BaTe, y BaO; materiales de Grupo I-III-VI tales como $CuInS_2$, $Cu(In,Ga)S_2$, $CuInSe_2$ y $Cu(In,Ga)Se_2$; materiales de Grupo III-V tales como AlN, AlP, AlAs, AlSb, GaN, GaP, GaAs, GaSb, InN, InP, InAs, y InSb; materiales de Grupo IV tales como Si, Ge, y C; materiales de Grupo IV-VI tales com GeSe, PbS, PbSe, PbTe, PbO, SnSe, SnTe y SnS; y materiales de Grupo V-VI tales como Sb_2Te_3, Bi_2Te_3, y Bi_2Se_3. Compuestos de metal de transición tales como los óxidos, sulfuros y fosfuros de Fe, Ni y Cu pueden ser aplicables. Ejemplos de QDs además comprenden aleaciones o compuestos binarios, ternarios, cuaternarios, etc. Que incluyen las especies precedentes (por ejemplo, SiGe, InGaAs, InGaN, InGaAsP, AlInGaP, etc.). Otros puntos cuánticos pueden incluir otros tipos de materiales semiconductores (por ejemplo, ciertos materiales orgánicos y poliméricos). Para que QD tenga una estructura núcleo-cubierta, la cubierta puede estar compuesta de una de las precedentes especies u otras especies, y las respectivas composiciones del núcleo y de la cubierta pueden ser diferentes – por ejemplo, una composición núcleo-cubierta puede ser CdSe-ZnS.

(0045) Como puede ser apreciado por personas expertas en la técnica, la composición seleccionada para el QDS puede estar basada en una propiedad deseada tales como una energía de intervalo de banda o una sensitividad de longitud de onda. Como ejemplos, QDs tales como PbS, PbSe, PbTe, HgTe, InAs, InP, InSb, InGaAsP, Si, Ge ó SiGe pueden ser seleccionados para sensibilidad IR, mientras que QDs tales como CdS, CdSe ó CdTe pueden ser seleccionadas para sensibilidad visible y QDs tales como ZnS o ZnSe para sensibilidad UV. PbS y otros QDs IR sensitivos son particularmente útiles en dispositivos fotovotaicos, habida cuenta que gran parte de la energía solar disponible para la conversión por dispositivos optoelectrónicos se encuentra en la región IR. Los QDs que absorben (o emiten) IR azules, UV-IR e IR cercanos pueden ser seleccionados también. Además, el tamaño de los QDs puede ser seleccionado para absorber o emitir un ámbito deseado de radiación electromagnética. Generalmente, para una especie dada de QD bajo un tamaño crítico, un tamaño más pequeño es más sensible a longitudes de onda (más azules) más cortas y un tamaño mayor es más sensible a longitudes de onda (más rojas) más largas. Además, el comportamiento optoelectrónico de los QDs puede ser personalizado dependiendo de su forma y de su distribución de tamaño en la capa QD (108). Adicionalmente, la capa QD (108) puede incluir QDs de dos o más especies diferentes (composiciones) y/o dos o más tamaños específicos diferentes. Esto es útil cuando es deseable extender el ámbito de propiedades, comportamiento o ejecución de la capa QD (108). Por ejemplo, una mezcla de QDs en la capa QD (108) puede ser seleccionada, de manera que la capa QD (108) es mejorada en cuanto a la capacidad de respuesta a diferentes bandas del espectro electromagnético (por ejemplo, radiación visible o radiación IR, radiación visible y UV, etc.). Alternativamente o adicionalmente, más de una capa QD (108) distinta puede ser provista, teniendo cada una, una diferente composición o tamaño de QDs. Dos o más capas QD (108) pueden formar una parte de un número correspondiente de uniones de QD-fullereno separadas dentro del dispositivo electroelectrónico (100).

(0046) El QDs puede ser formado por varias técnicas conocidas tales como, por ejemplo, síntesis coloidal, síntesis de plasma, deposición de vapor, crecimiento epitaxial y nanolitografía. El tamaño, la distribución del tamaño, la forma, la química de superficie u otros atributos de los QDs pueden ser diseñados o ajustados para tener las propiedades deseadas (por ejemplo, absorción y/o emisión de fotón) por cualquier técnica adecuada ahora conocida o desarrollada más adelante. La capa QD (108) puede estar formada en una capa subyacente (por ejemplo, el electrodo (120) o una capa interviniente) por cualquier método adecuado, particularmente, métodos basados en soluciones, tales como varios métodos de revestimiento e impresión conocidos, o cuchilla doctor. En un ejemplo, los QDs están provistos en una solución de un disolvente de portador orgánico, tales como anisol, octano, hexano, tolueno, butilo-amina, agua, etc., como sin una matriz o material hospedante, y están depositados

en un espesor deseado por revestimiento por rotación. El disolvente en exceso puede ser eliminado después por evaporación, vacío o tratamiento de calor. Después de la formación, la capa QD (108) puede incluir o no disolvente residual. La capa QD (108) como se deposita puede estar caracterizada por incluir una multitud, un conjunto o una variedad de QDs. Los QDs pueden ser compactados estrechamente, ya más o menos independientes, sin inclusión de un material matriz. Sin un material matriz, la capa QD (108) puede ser estabilizada por fuerzas de Londres o fuerzas Van der Waals. Alternativamente, los QDs pueden ser dispersados a una densidad deseada o una concentración en un material matriz, que puede estar compuesto de un polímero, sol-gel u otro material que pueda formar fácilmente una película en la superficie subyacente pretendida. Generalmente, el material matriz seleccionado se elige para mejorar la conversión óptica a eléctrica o eléctrica a óptica u otros parámetros de ejecución de los QDs y el dispositivo optoelectrónico (100) en su conjunto observado. Un ejemplo de semejante material matriz es un polímero semiconductor, tal como poli-3-hexiltiofeno. Alternativamente, los QDs pueden ser estabilizados tratándolos como se describe abajo para que la película se convierta en menos soluble.

(0047) Según un aspecto de la presente enseñanza, la capa QD (108) está formada de manera que resulta una densidad de bajo defecto, así reduciendo los agujeritos locales y acortando la capa QD (108). Como ejemplo, los QDs están provistos en una solución que incluye al menos un componente solvente con una volatilidad relativamente baja (tal como, por ejemplo, anisol) o una humectación mejorada del substrato subyacente (tal como, por ejemplo, octano u otros alcanos). En otro ejemplo, la solución que incluye el QD está aplicada como revestimientos múltiples para incrementar el espesor de la película y/o reducir los agujeritos. En otro ejemplo, una película QD se deposita como primer revestimiento y luego se somete a un tratamiento de post-deposición como se describe abajo para hacer que la película se convierta en menos soluble. Entonces, una película QD adicional se deposita como segundo revestimiento en el primer revestimiento tratado, que ayuda a pasivar cualquier defecto/agujerito en la capa QD (108). La iteración de depositar películas que incluyen QD seguidas de un tratamiento de post-deposición de cada película puede ser repetido el número de veces necesario para obtener un espesor de capa deseado o una reducción en la densidad del defecto.

(0048) Según un aspecto de la presente enseñanza, la capa QD como está formada (108) puede ser sometida a un proceso o tratamiento de post-deposición que mejora las propiedades del transporte electrónico de los QDs, y consecuentemente, mejora la ejecución del dispositivo optoelectrónico (100). Esto se consigue exponiendo los QDs a una sustancia química seleccionada, tales como la inmersión de la capa QD (108) / conducto transparente (120) / estructura del substrato (128) en la solución química. Alternativamente, la capa QD como está formada (108) puede someterse al tratamiento exponiéndola a una atmósfera de fase de vapor que incluye la sustancia química o las sustancias químicas seleccionadas. La(s) sustancia(s) química(s) utilizadas para el tratamiento en la capa QD (108) puede mejorar la movilidad del portante de carga y pasivar defectos o uniones de superficie no saturadas en la capa QD (108). Además, para mejorar las propiedades electrónicas de los QDs, el tratamiento químico puede resultar en una modificación substancial de la morfología firme. Después del tratamiento químico, la capa QD (108) puede mostrar una densidad óptica aumentada, una fracción de empaquetado del punto aumentada, y/o una robustez mecánica y química aumentada. Estos cambios en la morfología de la película QD contribuyen además al aumento significativo en la movilidad del portante de carga y a la mejora en la ejecución del dispositivo. Ejemplos de sustancias químicas que pueden ser utilizadas para el tratamiento de post-deposición incluyen uno o más de los siguientes: etano-tiol, alquilo-tioles, alquenilo-tioles, alquinilo-tioles, arilo-tioles, etano-ditiol, benceno-ditiol, alquilo-politioles, alquenilo-politioles, alquinilo-politioles, arilo-politioles, ácidos carboxílicos, ácidos fórmicos, metanol, tolueno, alcohol de isopropilo, cloroformo, acetonitrilo, ácido acético, butilo amina, 1,4 butilo diamina, alquilo-aminas, alquenilo-aminas, alquinilo-aminas, arilo-aminas, alquilo-poliaminas, alquenilo-poliaminas, alquinilo-poliaminas y arilo-poliaminas.

(0049) Antes del proceso de post-deposición, la capa QD (108) puede tener, por ejemplo, una movilidad de portador de carga en el ámbito de 10^{-6} – 10^{-4} cm^2/V sec. Como resultado del proceso de post-deposición, la capa QD (108) puede tener, por ejemplo, una movilidad de portador de carga en el ámbito de 10^{-4} – 10 cm^2/V sec. Se entiende aquí que las capas QD que se someten a un tratamiento químico de post-deposición para conseguir una movilidad $>10^{-4}$ cm^2/V sec están consideradas como que son capas QD de alta movilidad. Una de las características de las capas QD de alta movilidad puede ser una distancia más corta entre las superficies de dos QDs adyacentes. Esta distancia se denomina el distanciamiento de interpartícula y puede ser 3 nm o mayor para las capas QD como son depositadas y 2 nm o menos para las capas QD de alta movilidad. El espesor de la capa QD de alta movilidad puede ser reducida en un 20% al 80% comparado con la capa QD como fue depositada. Un ejemplo de una reducción en el espesor como resultado del tratamiento de la capa QD está descrito abajo en conexión con las Figuras 4A y 4B.

(0050) La capa de fullereno (112) incluye una multitud de fullerenos. La capa de fullereno (112) puede tener un espesor en el ámbito de 3 nm a 300 nm. El fullereno puede estar formado por varias técnicas conocidas tales como síntesis orgánica o descarga de arco entre los electrodos de grafito. La capa de fullereno (112) puede incluir además una película polimérica o un material de matriz adecuado en el cual los fullerenos están dispersos. La capa de fullereno (112) puede estar formada en la capa QD (108) por, por ejemplo, evaporación termal, revestimiento por rotación o cualquier otra deposición o técnica adecuada que forma la película para proveer una capa de inclusión de fullereno de un espesor deseado.

(0051) El electrodo (120) puede ser cualquier material que sea conductivo eléctricamente y cuando el electrodo (120) está concebido para recibir la luz incidente (116), es ópticamente transparente. En el contexto presente, un

material conductivo eléctricamente es generalmente uno que podría ser considerado aceptable para el uso como un electrodo o contacto para pasar corriente a un circuito comercial o de grado industrial, por ejemplo, con un nivel aceptablemente bajo de pérdida resistiva. Un material ópticamente transparente es generalmente uno que pasa una suficiente cantidad de luz incidente (116) a través de su espesor para irradiar los QDs de la capa QD (108), es decir, sin reflexión significativa y absorción de fotones. Como un ejemplo no limitante, un material transparente puede ser aquel que permite al menos el 50% de la radiación electromagnética incidente (116) (de una longitud de onda deseada o un ámbito de longitud de ondas) para ser transmitido a través del espesor del material. Adicionalmente, el material del electrodo (120) debería ser aquel que provee una superficie adecuada para la deposición de los QDs, y que generalmente facilita la fabricación del dispositivo optoelectrónico (100) de una forma fiable y económica. Correspondientemente, el material del electrodo (120) puede ser del tipo que puede ser depositado como una película fina en un substrato (por ejemplo, el substrato (128)).

(0052) Ejemplos del electrodo (120) incluyen, pero no están limitados a óxidos conductivos transparentes (TCOs), metales transparentes, y polímeros conductivos transparentes. Los TCOs pueden incluir, por ejemplo, oxido de estaño (TO), óxido de estaño indio (ITO), óxido de cinc (ZnO), óxido de indio cinc (ZIO), óxido de estaño indio cinc (ZITO), óxido de indio galio (GIO), y otras aleaciones o derivados de los anteriores. El óxido de estaño también puede ser dopado con fluorina (F). ZnO puede ser dopado con un elemento del Grupo III, tal como galio (Ga), y/o aluminio (Al), y entonces puede ser más generalmente expresado estequiométricamente como $Zn_x Al_y Ga_z O$ donde $x + y + z = 1,0 \leq x\ 1,0 \leq y \leq 1$, $y\ 0 \leq z \leq 1$. Otros óxidos de metal pueden ser adecuados, así como semiconductores de película fina de no-óxido. En el caso de los metales, varios metales (por ejemplo, plata, oro, platino, titanio, litio, aluminio, magnesio, cobre, níquel y otros), aleaciones que incluyen metal (incluido multi-capas o dos o más diferentes metales, con o sin una capa que promueve la adhesión, tal como tungsteno), o compuestos que incluyen metal pueden ser empleados como el electrodo (120), siempre que el electrodo metálico (120) sea lo suficientemente fino para ser transparente, por ejemplo, tenga un “espesor transparente”. Si se desea que el dispositivo optoelectrónico (100) sea sensible en el ámbito IR, entonces el electrodo (120) debería ser lo suficientemente transparente a longitudes de onda IR. El electrodo (120) normalmente está fabricado en el substrato (128) mediante una técnica de deposición de vacío tal como, por ejemplo, deposición de vapor químico (CVD), CVD metalorgánico (MOCVD), radio-frecuencia (RF) o pulverización catódica de magnetrón, epitaxia de haz molecular (MBE), epitaxia de haz de iones, láser MBE, deposición laser pulsada (PLD), o similar. Dependiendo de la composición, otras técnicas de deposición tales como evaporación termal o sublimación pueden ser adecuadas. Un polímero conductivo, si es lo suficientemente transparente puede ser empleado alternativamente como electrodo (120), y puede ser depositado mediante un proceso basado en solución, revestimiento por rotación, recubrimiento por inmersión, recubrimiento de pulverización, etc. Un ejemplo que no es limitante de un polímero conductivo transparente es poli(3,4-etileno-dioxi-tiofeno:poli-estireno-sulfonato (PEDOT:PSS) y sus relativos y derivativos químicos. Una capa de nanotubos de carbón conductivo (CNTs) ó nanoláminas (por ejemplo, grafeno) puede ser empleada como el electrodo (120), y puede o no incluir un material de matriz que rodea los CNTs o las nanoláminas. Los materiales de electrodo pueden ser combinados también para formar un electrodo compuesto (120). Un ejemplo es el uso de un TCO, tal como ITO, combinado con un polímero conductivo para mejorar la calidad del interfaz, tal como PEDOT:PSS. En otra ejecución, el conductor (120) no necesita ser transparente y puede ser seleccionado de metales, aleaciones que incluyen metal, o compuestos que incluyen metal. Uno de ambos electrodos (120 ó 124) deberían ser transparentes.

(0053) El electrodo (124) puede ser provisto también siguiendo la descripción de arriba relativa a los electrodos (120). En ejecuciones típicas del dispositivo optoelectrónico, el electrodo (124) no necesita ser transparente y así su composición normalmente es seleccionada de metales, aleaciones que incluyen metal o compuestos que incluyen metal. El electrodo (124) puede ser seleccionado según su función de trabajo o su utilidad como contacto óhmico. El electrodo (124) puede cubrir la superficie entera de la capa subyacente en la cual está depositado (por ejemplo, la capa de fullereno (112) en el ejemplo presente) o una parte de la superficie subyacente. Además, más de un electrodo (124) distinto físicamente puede ser provisto, por ejemplo, proveyendo una capa de material conductivo y subsecuentemente, formando electrodos (124) desde la capa conductiva mediante cualquier técnica adecuada. En un ejemplo preferible, el electrodo (124) está compuesto de aluminio.

(0054) El substrato (128) puede tener generalmente cualquier composición adecuada para fabricar el electrodo (120), y puede depender de semejantes factores, como el tipo de técnica de deposición utilizada, si el substrato (128) necesita ser transparente, si el substrato (128) necesita ser eliminado del electrodo (120) después de la fabricación, el uso final del dispositivo optoelectrónico (100), etc. De este modo, la composición del substrato (128) puede incluir generalmente varios lentes (incluyendo grado óptico), cerámicas (por ejemplo, zafiro), metales, materiales dieléctricos, polímetros conductivos eléctricamente o polímeros aislantes, semiconductores, materiales semiaislantes, etc.

(0055) La Figura 2 es una vista esquemática transversal de otro ejemplo de un dispositivo optoelectrónico (200) según ciertas ejecuciones de la presente manifestación. En esta ejecución, uno o más capas adicionales de materiales están provistas para mejorar un atributo relacionado con la ejecución, tal como la eficiencia cuántica o la eficiencia de conversión de la energía. Por ejemplo, una capa de bloqueo de agujero (242) puede ser interpuesta entre la capa de fullereno (112) y el electrodo (124) para prevenir que los agujeros se desplacen hacia el electrodo y posiblemente se combinen con un electrón libre cerca de la superficie del electrodo. La capa de bloqueo del agujero (242) puede estar compuesta de cualquier material orgánico o inorgánico adecuado para proporcionar la función de bloqueo del agujero. Los ejemplos incluyen, pero no están limitados a compuestos inorgánicos tales

como TiO_2 ó ZnO, compuestos orgánicos tales como 2,9-dimetilo-4,7-difenilo-1,10-fenantrolina (batocuproina ó BPhen), 2,9-bis(naftalen-2-yl)-4,7-difenilo-1,10 fenantrolina (NBPhen), o un complejo de quelato de metal tal como tris-8-hidroxi-quinolinato aluminio Alq_3), y relativos y derivados químicos de los anteriores. Varios compuestos orgánicos convencionalmente utilizados como capas de transporte del electrón o capas de bloqueo de agujeros en dispositivos optoelectrónicos orgánicos pueden ser efectivos como la capa de bloqueo de agujeros (242) en la presente ejecución. La capa de bloqueo de agujeros (242) puede incluir además una capa dopada que provee una concentración de portante mejorada. Los dopajes pueden incluir moléculas orgánicas o álcali-metales teles como litio o cesio. El espesor de la capa de bloqueo de agujeros (242) generalmente dependerá de su composición. En algunos ejemplos, el espesor de la capa de bloqueo de agujeros (242) está en el ámbito desde 1 nm hasta 100 nm.

(0056) En otras ejecuciones, en adición o como una alternativa a la capa de bloqueo de agujeros (242), el dispositivo optoelectrónico (200) puede incluir una capa de bloque de electrones (244) interpuesta entre el electrodo (120) y la capa QD (108) para prevenir que los electrones se desplacen hacia el electrodo (120) y que posiblemente se combinen con un agujero. La capa de bloqueo de electrón (244) puede estar compuesta de cualquier material orgánico o inorgánico adecuado para proporcionar la función de bloqueo de electrones. Algunos ejemplos incluyen, pero no son limitantes, trióxido de molibdeno (MoO_3), trióxido de tungsteno (WO_3), óxido de cobre (CuO_X), óxido de níquel (NiO_X), ftalocianina tal como ftalocianina de cobre (CuPc) o ftalocianina de estaño (SnPc) (pero no limitado a compuestos de Pc de metal), 4,4',4''-tris(3-metilo-fenilo-feniloamino)-trifeniloamina (m-MTDATA), N,N'-bis(1-naftil)-N,N'-difenilo-(1,1'-bifenilo)-4,4' diamina (a-NPD) y relativos y derivativos químicos de los anteriores. Adicionalmente, los QDs que tienen energías potenciales que son diferentes de los QDs en la capa (108) pueden ser empleados como la capa de bloqueo de electrón (244). Materiales con una conductividad alta no son generalmente adecuados, habida cuenta que la recombinación de carga puede ocurrir dentro o de forma adyacente a estas capas. Puede ser deseable modificar las propiedades de la capa de bloqueo de electrón (244) después de que ha sido depositada para mejorar su efectividad. Estos tratamientos pueden incluir el recocido en varias atmósferas de oxidación o de reducción o la exposición a un plasma de reducción u oxidación. Las especies de oxidación o reducción y las cámaras de reacción son conocidas por las personas expertas en la técnica y por ello no necesitan ser descritas en detalle aquí. Varios compuestos orgánicos convencionalmente usados como capas de transporte del agujero o capas de bloqueo de electrones en dispositivos optoelectrónicos pueden ser efectivos como la capa de bloqueo de electrón (244) en la presente ejecución. El espesor de la capa de bloque de electrones (244) generalmente dependerá de su composición. En algunos ejemplos, el espesor de la capa de bloqueo de electrón (244) está en el ámbito de 1 nm a 100 nm.

(0057) Es desventajoso para la capa de bloqueo de electrón (244) el ser fabricada de manera que sólo cubre parcialmente el electrodo (120). Una capa de bloque de electrones (244) que proporciona una cobertura parcial puede ser designada en una capa discontinua o una película. Una capa de bloqueo de electrón discontinua (244) puede proveer la mejor combinación de capacidad de bloqueo de excitones y/o electrones, mientras que permite el transporte eficiente de los agujeros al electrodo (120). Esta cobertura parcial puede estar formada por técnicas conocidas de modelado, o mediante la deposición de la película bajo condiciones apropiadas, de manera que resulta sólo una cobertura parcial. Ejemplos de técnicas de modelado incluyen, pero no están limitadas, el uso de máscaras, deposición mediante la impresión por chorro de tinta, etc. En algunas ejecuciones, la capa de bloqueo de electrón discontinua (244) tiene una configuración en la cual las islas o regiones del material de bloqueo del electrón están separadas o rodeadas por áreas que no contienen el material de bloqueo del electrón (por ejemplo, la ausencia del material de bloqueo del electrón en el nivel plano de la capa de bloqueo de electrón (244)). En otras ejecuciones, la capa de boqueo de electrones discontinua (244) tiene una configuración en la cual las áreas que no contienen el material de bloqueo del electrón están rodeadas por el material de bloqueo del electrón. De este modo, en una capa de bloqueo de electrón discontinua (244) la mayor parte del área plana de la capa de bloqueo de electrón (244) puede estar ocupada o no por el material de bloqueo del electrón. Cuando una capa de bloqueo de electrón discontinua (244) está provista como un modelo, el modelo puede ser regular o irregular. Ejemplos de modelos incluyen, pero no limitan, una serie de rayas, un conjunto de polígonos, un conjunto de círculos o puntos, etc.

(0058) Dependiendo de su composición y de las propiedades de la capa semiconductora con la cual está interconectada, una capa de bloqueo de agujeros (242) y/o una capa de bloqueo de electrón (244) tales como aquéllas indicadas arriba también pueden servir como capa de bloqueo de excitones para confinar excitones fotogenerados a la región de la heterounión en la cual necesitan ser disociados y apartados de las interfaces del electrodo/semiconductor. Las capas de bloqueo de excitones del lado del ánodo y/o del lado del cátodo pueden ser provistas también adicionalmente a la capa de bloqueo del agujero (242) y/o a la capa de bloqueo de electrón. Como se aprecia por personas expertas en la técnica, la composición de la capa de bloqueo del excitón puede ser dictada por si está posicionada de forma adyacente al ánodo (por ejemplo, el electrodo (120)) o al cátodo (por ejemplo, el electrodo (124)), de manera que la capa de bloqueo del excitón no perjudica al transporte de agujero o al transporte de electrón en la dirección relevante. También se aprecia el hecho de que las capas de bloqueo de agujero, las capas de bloqueo de electrones y las capas de bloqueo de excitones sean dopadas con otros compuestos según se necesite para una variedad de finalidades, tales como la movilidad mejorada o la estabilización de sus estructuras. Además, estos tipos de capas también pueden ser deseables como capas protectoras para proteger las capas subyacentes como son depositadas durante el proceso de fabricación. Las personas expertas en la técnica apreciarán la aplicabilidad de los derivativos o relativos químicos de los ejemplos anteriores de los materiales, que pueden ser utilizados como capa de bloqueo del agujero, la capa de bloqueo del electrón y la capa de bloqueo del excitón.

(0059) Si las composiciones orgánicas son seleccionadas para la capa de bloqueo de agujero (242), la capa de bloqueo de electrón (244), y/o cualquier capa(s) de bloqueo de excitones adicional, tales como capas orgánicas, pueden ser depositadas en la misma cámara de deposición utilizada para el crecimiento o el depósito del electrodo (120 y/o 124). En este caso, las capas orgánicas pueden ser depositadas mediante deposición de fase de vapor orgánica (OPVD), deposición de haz molecular orgánica o cualquier técnica de deposición adecuada. Alternativamente, las capas orgánicas pueden ser depositadas mediante revestimiento por rotación, recubrimiento por inmersión, recubrimiento por pulverización, impresión por chorro de tinta, impresión de huecograbado, evaporación, sublimación o similar.

(0060) En otra ejecución, el dispositivo puede ser fabricado mediante la reversión del orden de las capas descritas aquí, de manera que la capa QD (108) es depositada encima de la capa de fullereno (112). Se entiende que las propiedades de la heterounión y la función de las capas constituyentes permanecen siendo las mismas.

(0061) La única heterounión QD-fullereno constituye una mejora substancial respecto a heteriouniones conocidas previamente. En particular, la heterounión QD-fullereno muestra una absorción de luz mejorada y una absorción de luz a longitudes de onda no accesibles por otras heterouniones. Una consecuencia de la absorción de luz mejorada es una densidad de fotocorriente más alta. La heterounión muestra una separación de carga eficiente y voltajes de circuito abierto altos respecto al intervalo de energía, que conllevan una eficacia de conversión de energía mayor comparado con dispositivos basados en otros tipos de heterouniones. Otra mejora incluye el tratamiento de post-deposición de la capa QD (108) para mejorar las propiedades de transporte de carga de esta capa. Esta técnica aumenta la eficiencia de separación de carga, aumenta la eficiencia de extracción de carga, disminuye la resistencia de series, y permite el uso de una capa QD (108) más espesa sin reducir la eficiencia. Otra mejora es el uso de una capa de bloqueo de electrón (244) como se describió más arriba, que incrementa la eficiencia de separación de carga reduciendo la recombinación del excitón en la interfaz de la capa del electrodo-QD, y ayuda a limitar los efectos perjudiciales de los defectos en la capa QD (108).

(0062) Los dispositivos optoelectrónicos que implementan una heterounión QD-fullereno como se describe aquí han mostrado características de ejecución que demuestran algunas de las ventajas de esta heterounión. En un ejemplo, un dispositivo fotovoltaico fue fabricado basándose en la estructura ilustrada en la Figura 1 e incluía la capa de boqueo del electrón (244) ilustrada en la Figura 2. Una capa de bloqueo de electrón (244) de MoO_3 de 2 nm de espesor fue depositada en un substrato de vidrio (128) revestido con un electrodo ITO (120). La capa QD (108) fue formada en la capa de bloqueo de electrón (244) mediante el recubrimiento por rotación de una solución de butilo-aminas cubiertas por PbS QDs en octano con una concentración de 50 mg/ml. Después de permitir que el disolvente en exceso se evapore, la capa QD (108) resultante tiene un espesor de aproximadamente 80 nm. La capa QD (108) fue tratada entonces mediante inmersión en el 5% de ácido fórmico en acetonitrilo durante 5 minutos. La capa de fullereno (112) fue formada entonces en la capa QD (108) mediante evaporación termal de una capa de 30 nm de fullereno C_{60}. Una capa de 5 nm de BCP fue formada entonces en la capa de fullereno (112) mediante evaporación termal para servir como capa de bloqueo de agujeros (242). Un electrodo (124) fue depositado entonces en la BCP consistente en una capa de 100 nm de espesor de Al, seguida por una capa de 100 nm de espesor de Ag. Una fuente de luz Xe con un filtro que se aproxima al espectro solar AM1.5G fue calibrado usando una célula de referencia Si NIST trazable para producir 100 mW/cm2 de irradiancia. El lado de vidrio del dispositivo fotovoltaico fue irradiado usando esta fuente con la muestra a una temperatura ambiente y sin protección de oxígeno ambiental y humedad. El área del electrodo (124) fue medida usando un microscopio calibrado para ser~ 0.75 mm^2. La corriente fue medida como una función de voltaje aplicado usando un suministro/medidor de energía Keithley 2400 SourceMeter para producir los datos I-V en la Figura 3. Este dispositivo fotovoltaico mostraba eficiencias de conversión de la energía del 4.5% según la ecuación $PCE = I_{SC} \times V_{OC} \times FF$, en el cual *PCE* es la eficiencia de conversión de la energía, I_{SC} es la corriente del cortocircuito, V_{OC} es el voltaje de circuito abierto, y *FF* es el factor de llenado, según sus definiciones estándares, respectivamente.

(0063) La movilidad del portador de carga de las capas QD fue medida usando la técnica de movilidad de efecto del campo. Las películas QD fueron fabricadas en substratos separados, pero empleando idénticos pasos de proceso de la capa QD como aquéllos en los dispositivos PV. En este método se fabrica un transistor de efecto de campo de película fina (FET) usando QDs y la movilidad FET se extrae de la medida del voltaje de compuerta frente a la curva de transferencia de corriente de drenaje del dispositivo. Si la movilidad de portador de carga se mide por otras técnicas, o usando una implementación física diferente de la capa QD, o bajo diferentes condiciones, tales como a una temperatura diferente, se puede obtener un valor medido de forma diferente. Por ello, el término movilidad en este contexto hace referencia a los valores medidos usando una técnica de efecto de campo y la estructura de dispositivo descrita aquí con medidas hechas a temperaturas ambiente, y usando una capa QD en el dispositivo FET, que es procesado de idéntica manera que la capa QDE usada en el dispositivo PV. Además, la movilidad en ciertos sistemas de material es conocida por tener una dependencia en voltaje aplicado. Todos los valores de movilidad descritos aquí son para un dispositivo con una compuerta de fuente y un drenaje de fuente estando en el ámbito de -20V a +20V.

(0064) El dispositivo FET está fabricada como sigue. Primeramente, una capa de SiO_2 de 50 nm de espesor se crece por la oxidación termal de un substrato de silicona cristalina conductiva. El substrato sirve como el electrodo de compuerta y el SiO_2 sirve como el dieléctrico de compuerta. Una fuente y los electrodos de drenaje están modelados y depositados encima del SiO_2. La fuente y los electrodos de drenaje están separados por un intervalo de anchura de 5μm que es la longitud de canal FET, y son 2.5 mm de anchos que es la anchura de canal FET. La

capa QD está depositada mediante el recubrimiento por rotación de una solución de QDs en el substrato FET, formando una película de material que se encuentra encima del dieléctrico de compuerta, y conecta la fuente y los electrodos de drenaje. La combinación del electrodo de compuerta, el dieléctrico de compuerta, la fuente y los electrodos de drenaje y la película QD, forman el dispositivo FET.

(0065) Para medir la movilidad de la película QD se aplica un voltaje fijo entre la fuente y los electrodos de drenaje y la corriente entre los mismos se mide. El voltaje fijo se elige para que esté en la parte de la respuesta FET, en la cual varía la corriente fuente-drenaje linealmente con el voltaje de drenaje, comúnmente conocido como el régimen lineal. El voltaje de drenaje es variado entonces y la corriente fuente-drenaje es medida para cada valor del voltaje de compuerta. El diagrama del voltaje de compuerta frente a la corriente de drenaje de fuente es la curva de transferencia del dispositivo FET. La movilidad QD es extraída usando la inclinación de la curva de transferencia, el valor del voltaje aplicado entre la fuente y los electrodos de drenaje, y la geometría de la estructura del dispositivo según la ecuación $g_m = \frac{WC_iV_{ds}}{L}\mu$, en la cual g_m (la transconductancia) es la inclinación de la curva de transferencia, W es la anchura del transistor, C_i es la capacidad del óxido de compuerta, L es la longitud del transistor, V_{ds} es el voltaje de drenaje-fuente aplicado, y μ es la movilidad FET.

(0066) Para ilustrar el impacto que la movilidad del portante de carga QD tiene en la eficiencia de conversión de los dispositivos PV de la unión de QD-fullereno hemos fabricado dispositivos con una movilidad de portante baja similares a aquéllos descritos por Dissanayake et al., citados arriba. Entonces nosotros fabricamos dispositivos con una capa QD de movilidad de portante alta como se describe aquí y comparamos su ejecución con aquéllos que contienen QDs de baja movilidad.

(0067) El material QD de baja movilidad tenía una movilidad FET medida de $1x10^{-4}$ cm^2/V-s. Los dispositivos de QD-fullereno fabricados con una capa QD de baja movilidad tenía una eficiencia de conversión de la energía del 0.4%. En comparación, los dispositivos fabricados con una alta movilidad QD tenían una movilidad FET medida de $4.5x10^{-3}$ cm^2/Vs. Los dispositivos de QD-fullereno fabricados con una capa QD de alta movilidad tenían una eficiencia de conversión de la energía del 4.5%.

(0068) Este experimento demuestra que para obtener eficiencias de conversión de energía en exceso del 4% en un dispositivo de unión QD-fullereno, la movilidad en la capa QD tiene que ser en exceso del $1x10^{-4}$ cm^2/V-s. El tratamiento de ácido fórmico empleado en la fabricación de las películas QD en este ejemplo es un método para obtener películas QD con movilidades mayores que $1x10^{-4}$ cm^2/V-s, sin embargo, otros métodos y variaciones son también posibles como se indica arriba.

(0069) Esta eficiencia de conversión de energía mostrada por el dispositivo en la Figura 3 es ~ 20 veces más alta que el dispositivo comentado por Dissanayake et al. debido a las mejoras en la ejecución actual. Con otros refinamientos de la estructura del dispositivo y el proceso de fabricación, se esperan unas eficiencias de conversión de energía mejoradas.

(0070) La Figura 4A es una imagen SEM (microscopio de electrón escaneador) de una estructura compuesta (400) que incluye una heterounión de punto cuántico/fullereno fabricada según la manifestación presente para probar las finalidades. La Figura 4B es una imagen SEM de una estructura compuesta (405) similar a la Figura 4A, pero en la cual los puntos cuánticos han sido tratados de acuerdo con una técnica manifestada aquí. En cada caso, el sistema material es como sigue: capa QD de substrato de silicona (428) / sulfuro de plomo (PbS) (408) / C_{60} y capa de bloqueo de agujero (412) / contacto de metal (424). Las dos estructuras de compuestos (400 y 405) fueron fabricadas de idéntica manera, con la excepción de la capa QD (408). En la estructura del compuesto (400) de la Figura 4A, los PbS QD no fueron tratados y la capa QD (408) tenía un espesor de 92 nm. En comparación, en la estructura del compuesto (405) de la Figura 4B, los PbS QD después de la deposición fueron modificados por un tratamiento de ácido fórmico. Este tratamiento causó una reducción en un distanciamiento de interpartícula en la capa QD (408) de la estructura del compuesto (405), resultando así en una reducción del espesor de la película. El espesor de la capa QD (408) tratada con ácido fórmico resultante (408) en la estructura del compuesto (405) fue medida para que fuera de 52 nm.

(0071) En otras ejecuciones, el dispositivo optoelectrónico puede incluir múltiples uniones electrónicas activas o subcélulas, que pueden incrementar la eficiencia. Por ejemplo, el dispositivo optoelectrónico puede tener una configuración apilada que incluye capas QD (108) alternantes o periódicas y capas de fullereno (112). Opcionalmente, las capas conductivas (transportadoras de carga) pueden estar interpuestas entre cada heteroestructura de doble capa de QD-fullereno. Como otra alternativa, el dispositivo optoelectrónico puede tener una configuración apilada que incluye, al menos, una heteroestructura de doble capa de QD-fullereno y una o más heterouniones adicionales formadas por otros tipos de materiales de donantes de electrón o aceptadores de electrón (por ejemplo, heterouniones orgánicas, heterouniones inorgánicas). En este último caso, la heteroestructura de doble capa de QD-fullereno puede estar provista para una finalidad específica (por ejemplo, sensibilidad IR) mientras que otro tipo de heteroestructuras está provisto para una finalidad diferente (por ejemplo, sensibilidad de luz visible).

(0072) En otras configuraciones, el sistema de capas ilustrado en las Figuras 1 y 2 puede ser utilizado como un fotodetector. Como se aprecia por personas expertas en la técnica, esto puede conseguirse empleando una polarización externa y proporcionando un circuito adicional apropiado para la aplicación fotodetectora.

(0073) En otra ejecución, el sistema de capas ilustrado en las Figuras 1 y 2 puede ser utilizado o modificado y ciertas capas pueden ser omitidas o añadidas según la necesidad para producir un diodo de emisión de luz (LED) u otro tipo de dispositivo electroluminiscente o fotoluminiscente útil como una fuente de luz o para la transmisión de información. En la mayoría de los casos, la estructura de semiconductor activa de un dispositivo EL generalmente incluye una unión de una capa conductiva, transportadora de agujero y una capa de emisión de luz, transportadora de electrones. La luz generada en la capa de emisión de luz pasa a través de la capa transportadora de agujero y el electrodo (ánodo). Adicionalmente o alternativamente, el cátodo puede ser transparente como para pasar luz directamente desde la capa de emisión de luz. Como es apreciado por personas expertas en la técnica, una o más capas de materiales apropiados pueden ser provistas en cada lado de la unión activa para funcionar como reflectores. Esquemáticamente, la carga (132) dibujada en la Figura 1 puede ser reemplazada con una fuente de voltaje para dispositivos EL. Los QDs como se describen arriba pueden ser utilizados para proveer luminiscencia específica a una o más longitudes de onda deseadas o ámbitos espectrales. Para mejorar la eficiencia, la estructura de semiconductor puede incluir más de una unión QD-fullereno fotogénica activa. Alternativamente, las capas QD separadas pueden ser provistas con diferentes tipos o tamaños de QDs. Por ejemplo, una capa QD puede ser una capa absorbente o (detectora) de IR ó UV que provee una fotocorriente que activa otra capa QD para emitir luz visible como respuesta. Alternativamente, las funciones de absorción/ detección y emisión pueden ser integradas en una única capa QD que contiene una mezcla de diferentes QDs.

(0074) Las varias capas de materiales están esquemáticamente dibujadas en las Figuras 1 y 2 como siendo planas. Se entiende, sin embargo, que los dispositivos optoelectrónicos manifestados aquí no están limitados a ninguna geometría particular. Los dispositivos optoelectrónicos pueden tener un perfil curvado o alguna otra figura. Más bien, dependiendo de los materiales utilizados, los dispositivos optoelectrónicos pueden ser flexibles.

(0075) La interfaz entre la capa QD (108) y la capa de fullereno (112) están esquemáticamente dibujadas en las Figuras 1 y 2 como siendo planas. Sin embargo, se entiende que la unión no tiene que ser suave o abrupta. Es posible que la unión incluya una región mixta que contiene ambos puntos cuánticos y fullerenos. También es posible que las capas estén formadas de manera que las regiones de los puntos cuánticos y los fullerenos formen una red de regiones interpenetrantes que son predominantemente los puntos cuánticos y predominantemente los fullerenos, respectivamente. Adicionalmente, las estructuras verticales tales como pilares, poros, mesetas, u otras estructuras de microescalas o nanoescalas que proveen un área de heterounión mejorada por área de substrato unitaria pueden ser usados para mejorar o manipular la absorción de luz. Semejantes estructuras pueden emplear la misma heterounión que la estructura plana, pero en estos otros ejemplos, la unión puede ser extendida en tres dimensiones.

(0076) Mientras que los ejemplos de uniones QD-fullereno basados en dispositivos han sido descritos aquí primeramente en el contexto de la optoelectrónica, las personas expertas en la técnica apreciarán que la heteroestructura de QD-fullereno enseñada aquí sea aplicada a los dispositivos de microelectrónica en general. Es decir, el uso de la heteroestructura de QD-fullereno, como una unión electrónica, no está limitada a las aplicaciones foto-específicas. Como ejemplos no limitantes, la estructura QD-fullereno puede ser utilizada en un dispositivo de pantalla (por ejemplo, una pantalla de panel plano), un transistor, un dispositivo MEMS óptico, un dispositivo microfluídico, un laboratorio en un chip, un dispositivo que se puede implantar mediante cirugía, etc.

(0077) En general, los términos tales como “comunicar” y “en … comunicación con” (por ejemplo, un primer componente “comunica con” ó “está en comunicación con” un segundo componente) son usados aquí para indicar una relación estructural, funcional, mecánica, eléctrica, de señal, óptica, magnética, electromagnética, iónica o fluídica entre dos o más componentes o elementos. Como tales, el hecho de que un componente se diga que comunica con un segundo componente no pretende excluir la posibilidad de que los componentes adicionales puedan estar presentes entre y/o asociados operativamente o conectados con el primer y segundo componente.

REIVINDICACIONES

1ª.- Un dispositivo optoelectrónico (100, 200, 400) que comprende:

- un primer electrodo (120);
- una capa de bloqueo de electrón (244) dispuesta en el primer electrodo;
- una capa de punto cuántico (108) dispuesta en la capa de bloque de electrón y comprendiendo una multitud de puntos cuánticos;
- una capa de fullereno (112) dispuesta directamente en la capa del punto cuántico, en la cual la capa del punto cuántico y la capa de fullereno forman una heterounión electrónica (104); y
- un segundo electrodo (124) dispuesto en la capa de fullereno,

en el cual la capa de bloqueo del electrón (244) comprende una capa discontinua que opcionalmente es un modelo de un material de bloqueo de electrón.

2ª.- El dispositivo optoelectrónico de la reivindicación 1ª, en el cual los puntos cuánticos son seleccionados del grupo consistente en puntos cuánticos sensibles a la luz visibles, puntos cuánticos sensibles al infrarrojo, puntos cuánticos sensibles al ultravioleta; o tienen una composición seleccionada del grupo consistente en materiales del Grupo II-VI, Grupo I-III-VI, Grupo III-V, Grupo IV, Grupo IV-VI y Grupo V-VI. Los ejemplos incluyen, pero no están limitados a materiales de Grupo II-VI; o están compuestos de sulfuro de plomo, seleniuro de plomo, telururo de plomo, telururo de mercurio, o aleaciones de los mismos.

3ª.- El dispositivo optoelectrónico de la reivindicación 1ª ó 2ª, en el cual la multitud de puntos cuánticos comprende una multitud de primeros puntos cuánticos y una multitud de segundos puntos cuánticos, y los primeros puntos cuánticos tienen un primer tamaño medio y los segundos puntos cuánticos tienen un segundo tamaño medio diferente del primer tamaño medio, o los primeros puntos cuánticos tiene una primera composición y los segundos puntos cuánticos tienen una segunda composición diferente de la primera composición.

4ª.- El dispositivo optoelectrónico de la reivindicación 1ª, que comprende además una capa de bloqueo de agujero (242) dispuesta en la capa de fullereno, en la cual el segundo electrodo está dispuesto en la capa de bloqueo de agujero.

5ª.- El dispositivo optoelectrónico de la reivindicación 4ª, en el cual la capa de bloqueo de agujero tiene una cojmposicion seleccionada del grupo consistente en óxidos de titanio, óxidos de cinc, BCP, BPhen, NBPhen, y quelatos de metal.

6ª.- El dispositivo optoelectrónico de la reivindicación 1ª, en el cual la capa de bloqueo de electrón tiene una composición seleccionada del grupo consistente en óxidos de molibdeno, óxidos de tungsteno, óxidos de cobre, óxidos de níquel, ftalocianina, m-MTDATA, α-NPD, y puntos cuánticos.

7ª.- El dispositivo optoelectrónico de la reivindicación 1ª, en el cual la capa de punto cuántico muestra una movilidad de portante de carga mayor que 1 x 10^{-4} cm^2/V-sec, o en el ámbito desde más de 1 x 10^{-4} cm^2/V-sec hasta 10 cm^2/V-sec, o muestra un distanciamiento de interpartícula de 2 nm o menos, o en el cual el dispositivo optoelectrónico tiene una eficiencia de conversión de energía de al menos 4.5% cuando está iluminado por un haz de luz blanca incidente de 100 mW/cm^2.

8ª.- Un método para fabricar un dispositivo optoelectrónico (100, 200, 400), comprendiendo el método:

- depositar una capa de bloqueo de electrón (244) en un electrodo (120);
- depositar una capa de punto cuántico (108) en la capa de bloqueo de electrón, comprendiendo la capa del punto cuántico una multitud de puntos cuánticos; y depositando una capa de fullereno (112) directamente en la capa de punto cuántico,
- en el cual la capa de punto cuántico y la capa de fullereno forman una heterounión electrónica (104); y
- en el cual la capa de bloqueo de electrón (244) comprende una capa discontinua, que opcionalmente es un modelo de material de bloqueo de electrón.

9ª.- El método de la reivindicación 8ª, en el cual el depositar la capa de punto cuántico comprende el depositar una solución que comprende la multitud de puntos cuánticos y un disolvente.

10ª.- El método de la reivindicación 9ª, en el cual el disolvente es seleccionado del grupo que consiste en tolueno, anisol, alcanos, butiloaminas y agua.

11ª.- El método de la reivindicación 8ª, en el cual el depositar la capa cuántica comprende el depositar una primera película de punto cuántico en la capa de fullereno, seguida por el depositar una o más películas de punto cuántico adicionales en la primera película de punto cuántico.

12ª.- El método de la reivindicación 8ª u 11ª, comprendiendo, después de depositar la capa de punto cuántico o

una o más películas de punto cuántico adicionales, el tratamiento de la capa de punto cuántico o una o más películas de punto cuántico adicionales con una sustancia química que aumenta una movilidad de portante de carga de la capa de punto cuántico.

13ª.- El método de la reivindicación 10ª, 11ª ó 12ª, que comprende el tratamiento de la capa de punto cuántico o una o más películas de punto cuántico adicionales con una sustancia química que reduce el distanciamiento de interpartícula entre los puntos cuánticos, una sustancia química que reduce un espesor como fue depositado de la capa del punto cuántico, o una sustancia química que reduce tanto el distanciamiento de interpartícula como el espesor como fue depositado de la capa del punto cuántico.

14ª.- El método de la reivindicación 12ª, en el cual la sustancia química comprende una solución o vapor que tienen una composición seleccionada del grupo consistente en etano-tiol, alquilo-tioles, alquenilo-tioles, alquinilo-tioles, arilo-tioles, etano-ditiol, benceno-ditiol, alquilo-politioles, alquenilo-politioles, alquinilo-politioles, arilo-politioles, ácidos carboxílicos, ácidos fórmicos, metanol, tolueno, alcohol de isopropilo, cloroformo, acetonitrilo, ácido acético, butiloamina, 1,4 butilo-diamina, alquilo-aminas, alquenilo-aminas, alquinilo-aminas, arilo-aminas, alquilo-poliaminas, alquenilo-poliaminas, alquinilo-poliaminas y arilo-poliaminas.

15ª.- El método de la reivindicación 13ª, que comprende la reducción del distanciamiento de interpartícula de 2 nm o menos, o la reducción del espesor como fue depositado desde el 20 al 80%.

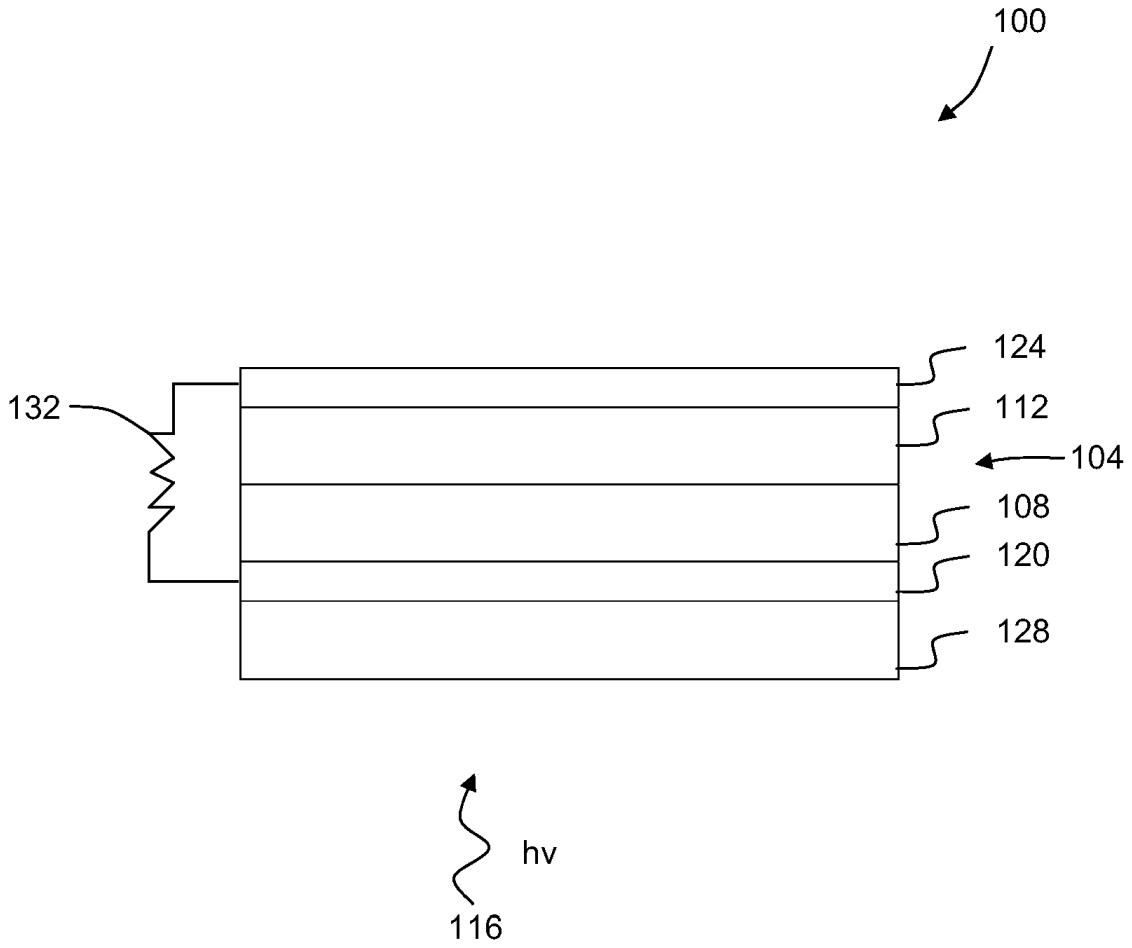

Fig. 1

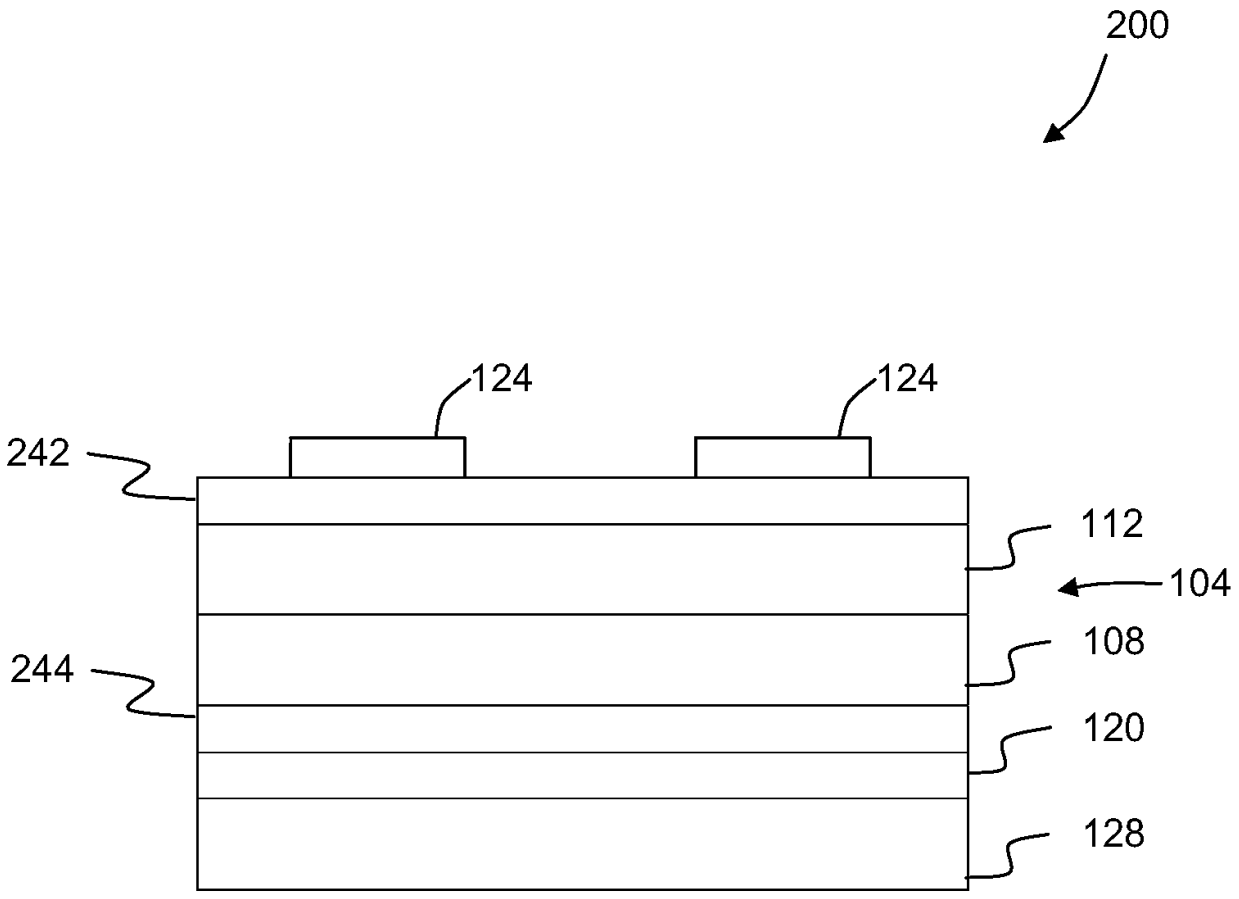

Fig. 2

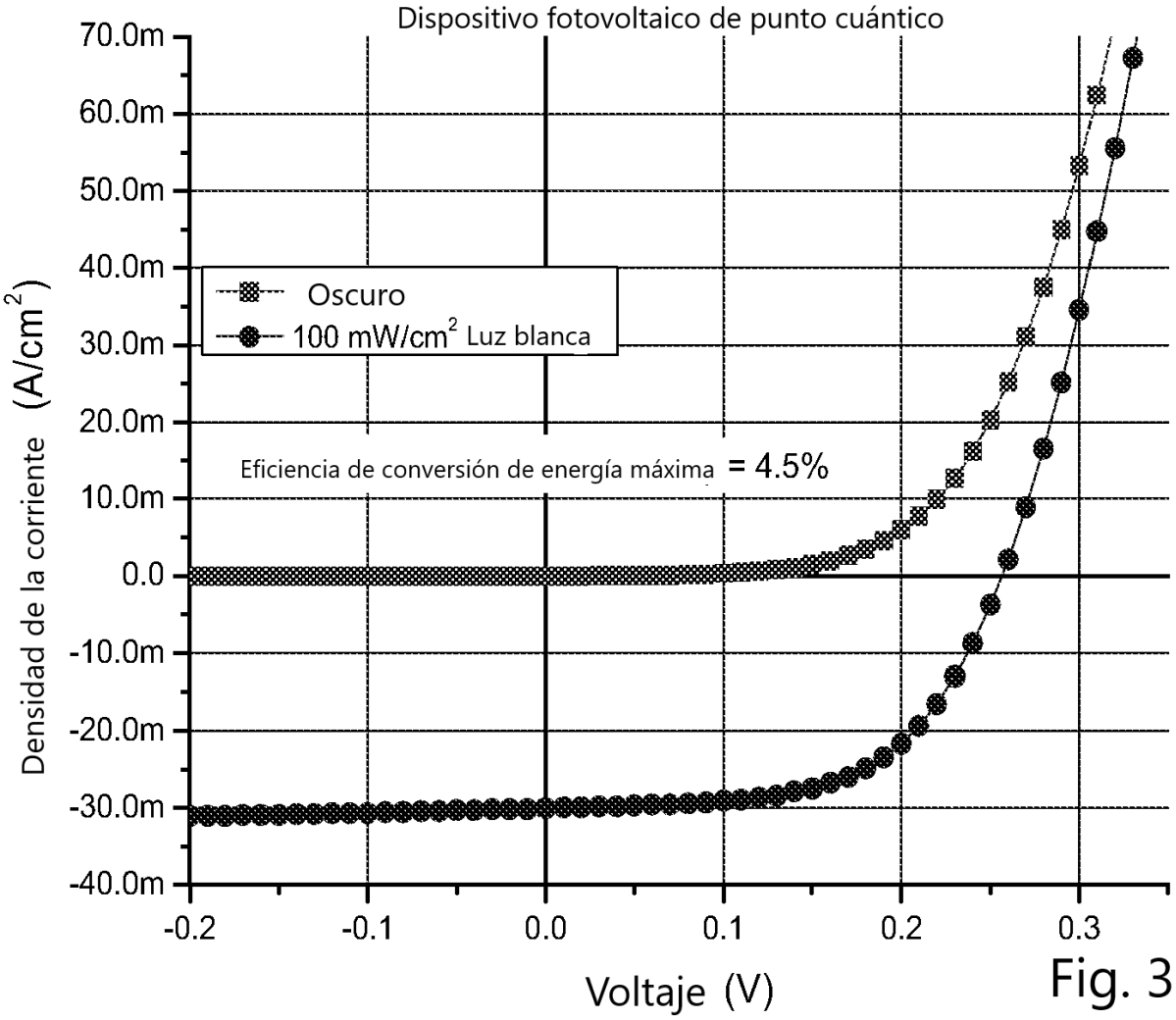
Dispositivo fotovoltaico de punto cuántico
70.0m
60.0m
50.0m
40.0m
30.0m
20.0m
10.0m
0.0
-10.0m
-20.0m
-30.0m
-40.0m
Densidad de la corriente (A/cm2)
Oscuro
100 mW/cm2 Luz blanca
Eficiencia de conversión de energía máxima = 4.5%
-0.2
-0.1
0.0
0.1
0.2
0.3
Voltaje (V)

Fig. 3

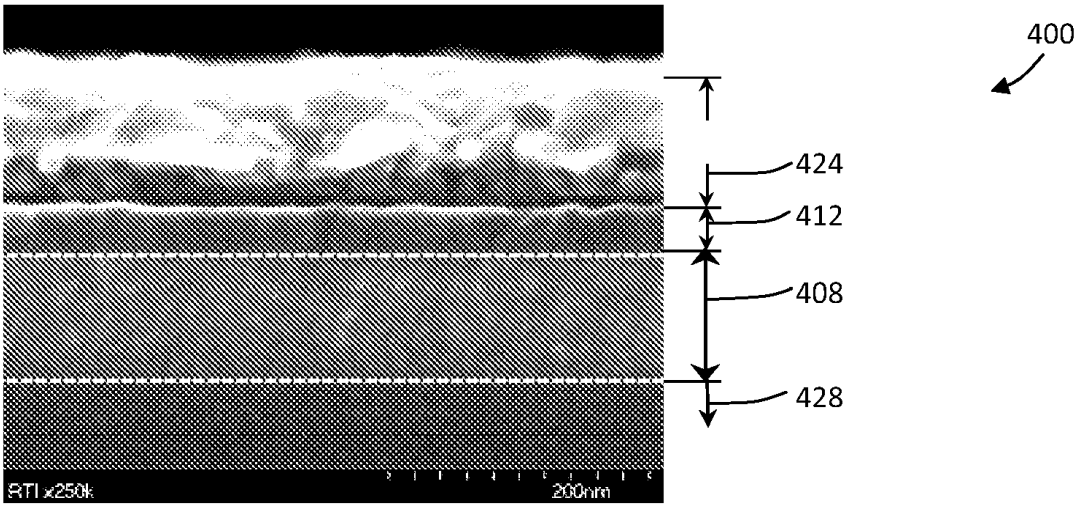
400
424
412
408
428
RTI x250k
200nm

FIG. 4A

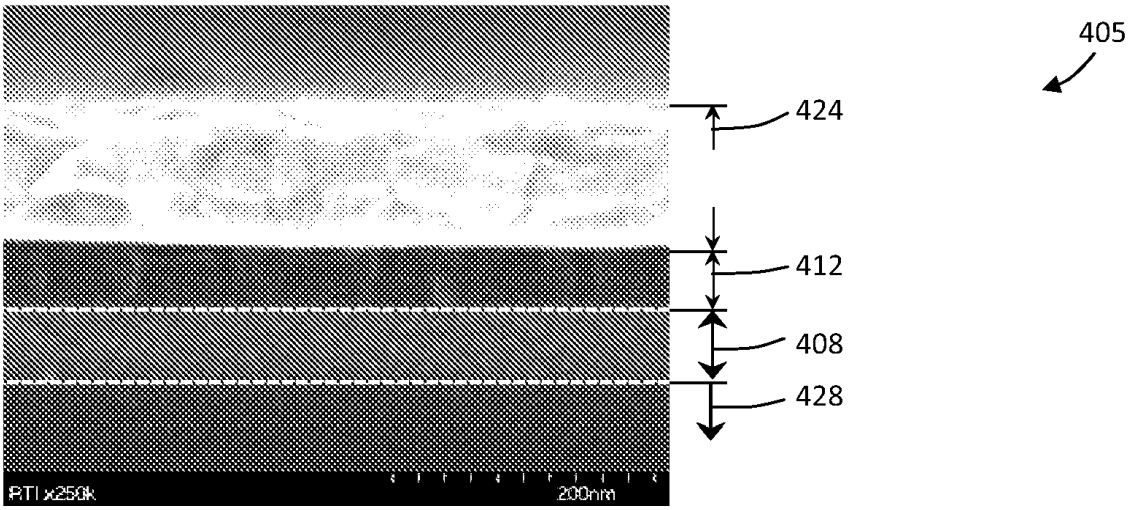
405
424
412
408
428
RTI x250k
200nm

FIG. 4B