

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 682 097**

51 Int. Cl.:

H04N 5/369 (2011.01)
H04N 5/376 (2011.01)
H04N 5/378 (2011.01)
H01L 27/146 (2006.01)
H04N 5/361 (2011.01)
H01L 51/00 (2006.01)
H01L 27/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2015** **E 15179484 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018** **EP 3128742**

54 Título: **Sensor de imagen con circuito de lectura no local y dispositivo optoelectronico que comprende dicho sensor de imagen**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.09.2018

73 Titular/es:
FUNDACIÓ INSTITUT DE CIÈNCIES FOTÒNIQUES (100.0%)
Parque Mediterráneo de la Tecnología Av. Carl Friedrich Gauss 3
08860 Castelldefels (Barcelona), ES

72 Inventor/es:
KONSTANTATOS, GERASIMOS;
KOPPENS, FRANK;
GOOSSENS, STIJN y
PIQUERAS, JUAN JOSÉ

74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 682 097 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

Sensor de imagen con circuito de lectura no local y dispositivo optoelectronico que comprende dicho sensor de imagen

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al campo de sensores de imágenes, en particular sensores de imágenes que comprenden un sustrato, una pluralidad de píxeles dispuestos en una primera área del sustrato, y una unidad de control conectada operativamente a la pluralidad de píxeles y adaptada para polarizar selectivamente dichos píxeles y leerlos. Un sensor de imagen según la presente invención logra una integración eficiente de la pluralidad de píxeles junto con la unidad de control al tiempo que evita la disposición de electrónica de lectura en los propios píxeles, lo que conduce a píxeles más simples y compactos, y hace que el sensor de imagen sea adecuado para la integración en dispositivos que deben ser flexibles y/o transparentes (o al menos parcialmente transparentes) para el ojo humano. Además, el diseño de píxeles particular de los sensores de imagen de la presente invención hace posible obtener píxeles con alta ganancia fotoconductor, responsividad mejorada y/o sensibilidad mejorada. La presente invención también se refiere a un dispositivo optoelectrónico que comprende dicho sensor de imagen.

10

15

20

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El uso de sensores de imagen es conocido en numerosas aplicaciones que van desde el sector de dispositivos de consumo general, a la fotografía profesional, y a usos industriales, médicos y/o científicos, por citar solo algunos.

25

Un sensor de imagen típico comprende una pluralidad de píxeles conectados operativamente a una unidad de control adaptada para polarizar selectivamente dichos píxeles y leerlos. Cada píxel incluye un elemento fotoactivo o fotodetector, que generalmente es un fotodiodo.

30

Actualmente, el mercado de sensores de imagen está dominado por sensores de píxeles activos (APS, acrónimo del inglés "Active Pixel Sensor"), que son totalmente compatibles con el proceso CMOS. Un píxel típico en un APS comprende un fotodiodo para la recogida de luz, un elemento de conmutación (tal como, por ejemplo, un transistor) para permitir que el píxel sea direccionado individualmente durante la lectura, y un amplificador.

35

Las tendencias tecnológicas actuales en el diseño de APS apuntan a la miniaturización de los píxeles mientras que, al mismo tiempo, incorporan más funcionalidad en los píxeles para proporcionar características mejoradas, como por ejemplo obturación global o reducción de ruido, entre otras. Sin embargo, estas tendencias conflictivas complican el diseño del píxel y de todo el sensor de imagen.

40

A medida que el tamaño de los píxeles se reduce, también lo hace el tamaño de sus fotodiodos. Dado que la eficiencia cuántica de los fotodiodos típicos no puede exceder de un valor igual a uno, para los rangos visible e infrarrojo, los APS se basan críticamente en alcanzar niveles de ruido muy bajos y/o en utilizar largos tiempos de exposición para lograr altas tasas de señal/ruido. Además, a medida que se requieren más y más transistores dentro del píxel para implementar tal funcionalidad avanzada, el área disponible para la recogida de luz del fotodiodo (o factor de llenado de píxel) se reduce aún más. Por lo tanto, serán necesarios sensores de imagen con un diseño mejorado de píxeles y un circuito de lectura más sofisticado para hacer frente a las especificaciones de rendimiento cada vez más exigentes.

45

50

Los sensores de imagen de iluminados posteriormente se han desarrollado en un intento de superar la reducción del factor de llenado de píxeles de los sensores de imagen convencionales (también denominados sensores de imagen iluminados frontalmente). En un sensor de imagen iluminado posteriormente, la electrónica de lectura "en píxel" está dispuesta detrás de la capa semiconductor que comprende el fotodiodo, a diferencia de sus homólogos iluminados frontalmente en los que dicha electrónica de lectura "en píxel" se dispone sobre la misma capa semiconductor que el fotodiodo o por encima de ésta. Esto normalmente se hace volteando la oblea de semiconductor durante la fabricación y luego adelgazando su reverso para que la luz entrante pueda incidir en el fotodiodo sin pasar a través de la electrónica de lectura "en píxel". Los sensores de imagen iluminados posteriormente logran una mejora sustancial en el factor de llenado de píxeles y, por lo tanto, en su capacidad de recogida de fotones, una mejora que es incluso más significativa cuando el tamaño del píxel es pequeño. Sin embargo, un inconveniente importante de los sensores de imagen iluminados posteriormente es que su fabricación se vuelve dramáticamente más complicada y costosa.

55

60

Después de los APS, la segunda porción más grande del mercado de sensores de imagen está ocupada por dispositivos de carga acoplada (CCD, acrónimo del inglés "Charged-Coupled Device") que, aunque también utilizan un fotodiodo para la recogida de luz, su fabricación y operación es bastante diferente de la de los APS. En un CCD, la carga generada por la recogida de fotones en un píxel dado, y almacenada inicialmente en un elemento de almacenamiento capacitivo en dicho píxel, se transfiere desde dentro del dispositivo a un área de procesamiento

65

donde se puede convertir en una señal eléctrica. Normalmente, la transferencia de la carga foto-recogida de los píxeles al área de procesamiento se realiza de una forma escalonada y sincronizada, en la que la carga recogida en un píxel de cada fila (o columna) de una disposición bidimensional de píxeles es progresivamente desplazada por una fila (o columna) y almacenada en el elemento de almacenamiento capacitivo del píxel en la fila (o columna) adyacente hasta que eventualmente llegue al área de procesamiento del CCD.

En comparación con los APS, los CCD no requieren que se proporcionen elementos de conmutación o amplificadores dentro del píxel. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes de este tipo de sensores de imagen es que necesitan una electrónica de lectura más compleja para llevar a cabo el proceso de desplazamiento de carga. Además, los CCD requieren una tecnología de fabricación dedicada que es costosa y, lo que es más importante, incompatible con el procesamiento CMOS estándar.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el rango espectral en el que un sensor de imagen debe funcionar ya que determinará en gran medida la elección de los materiales absorbentes de luz disponibles para la fabricación del elemento fotoactivo de los píxeles.

En ese sentido, el silicio se usa ampliamente en sensores de imagen que operan en los rangos de luz visible y de infrarrojo cercano. Por el contrario, los compuestos tales como InGaAs o HgCdTe, entre otros, se emplean a menudo para el rango de infrarrojos (incluidos los sub-rangos de infrarrojos de onda corta y/o de onda larga). Finalmente, para los sensores de imagen que operan en la región ultravioleta, y rangos de onda más corta, algunos materiales adecuados conocidos incluyen semiconductores de banda ancha, como por ejemplo AlGaIn.

Los sensores de imagen que integran silicio (por ejemplo, los de tecnología CMOS) para su unidad de control con materiales fotosensibles distintos del silicio para los elementos fotoactivos de los píxeles (también denominados sensores de imagen híbridos) ofrecen un rango espectral operativo extendido en comparación con los sensores de imagen basados en CMOS. Sin embargo, como los sensores de imagen basados en CMOS, los sensores de imagen híbridos no proporcionan una solución práctica a los desafíos tecnológicos de la miniaturización e integración de más funcionalidad a nivel de píxel, con la desventaja adicional de que dicha integración híbrida implica procesos de unión difíciles y costosos.

El rápido desarrollo en los últimos años de un mercado para dispositivos de consumo, dispositivos llevables/ponibles y aplicaciones móviles ha despertado un interés creciente en el desarrollo de una tecnología capaz de proporcionar componentes, e incluso dispositivos completos, que sean flexibles y/o transparentes (o al menos parcialmente transparentes) al ojo humano.

Se han propuesto algunos sensores de imagen en un intento de proporcionar una solución transparente. Por ejemplo, el documento US 5,349,174 A divulga un sensor de imagen que tiene una disposición bidimensional de píxeles dispuesta sobre un sustrato transparente. Además, los píxeles de dicho sensor de imagen comprenden algunos elementos, como por ejemplo un condensador de almacenamiento, que también son transparentes. Aunque el sensor de imagen resultante es semitransparente (ya que solo una parte del área ocupada por los píxeles es transparente), no está diseñado para ser flexible. Además, la unidad de control del sensor de imagen requiere elementos de conmutación en los propios píxeles para direccionar píxeles individuales al realizar la lectura, lo que reduce el factor de llenado de píxel y aumenta la complejidad del diseño de píxeles y del circuito de lectura de la unidad de control.

También ha habido algunos intentos de proporcionar un sensor de imagen flexible. Por ejemplo, el documento US 6,974,971 B2 describe un sensor de imagen que se puede doblar hasta cierto punto, y que incluye una disposición ordenada de píxeles dispuestos en áreas discretas de un sustrato. Unas regiones seleccionadas del sustrato, lejos de aquellas áreas en las que se forman los píxeles, se debilitan para estimular que se produzca la flexión del sustrato preferentemente en esas regiones al doblar el dispositivo y, de esta manera, reducir el riesgo de dañar los píxeles. Otro ejemplo se describe en el documento US 8,193,601 B2, en el que un sensor de imagen comprende una pluralidad de píxeles, teniendo cada uno un fotodiodo PIN como elemento fotoactivo, dispuesto sobre un sustrato flexible. Sin embargo, estas soluciones están lejos de ser satisfactorias ya que todavía se requieren elementos de selección en los propios píxeles, en particular transistores de película delgada (TFT), para leer selectivamente los píxeles.

Los elementos fotoactivos basados en fotodiodos orgánicos, como los descritos en el documento US 6,300,612 B1, también se han considerado candidatos prometedores para sensores de imagen flexibles y transparentes. Sin embargo, estos sensores de imagen generalmente todavía necesitarán un elemento de conmutación en los propios píxeles para direccionar píxeles individuales. Además, los fotodiodos orgánicos tienen una responsividad bastante limitada, muy por debajo de 1 A/W, lo que puede ser problemático cuando se utilizan en sensores de imágenes, especialmente en aquellos con píxeles de pequeño tamaño.

El uso de dispositivos activos basados en materiales bidimensionales (2D), como por ejemplo el grafeno, para diferentes aplicaciones es el objetivo de investigación en curso. Por ejemplo, los fotodetectores de un solo píxel que tienen un elemento fotosensible hecho de grafeno se han demostrado como prueba de concepto. El uso de fotodetectores basados en materiales 2D (por ejemplo, grafeno, como se describe por ejemplo en el documento US

8,053,782 B2) o en nanocristales semiconductores (por ejemplo, puntos cuánticos, véase, por ejemplo, la patente US 8,803,128 B2) en los píxeles de sensores de imágenes de tamaño completo también sido propuesto. Sin embargo, tales sensores de imagen típicamente muestran una ganancia fotoconductiva limitada.

5 Por tanto, sería altamente deseable tener sensores de imagen en los que el elemento fotosensible de sus píxeles sea capaz de proporcionar una alta ganancia fotoconductiva, sin comprometer la sensibilidad de los píxeles debido, por ejemplo, a altos niveles de corriente oscura.

10 El documento WO 2013/017605 A1 describe un fototransistor que comprende una capa de transporte hecha de grafeno, y una capa de sensibilización dispuesta encima de la capa de transporte y que está hecha de puntos cuánticos coloidales. La capa de sensibilización absorbe la luz incidente e induce cambios en la conductividad de la capa de transporte a la que está asociada. La alta movilidad de portadores que tiene el grafeno y la larga vida útil de los portadores en los puntos cuánticos hacen posible que el fototransistor descrito allí obtenga una gran ganancia fotoconductiva. Sin embargo, el dispositivo solo puede alcanzar los niveles de respuesta deseados a expensas de mayores niveles de corriente oscura, que a su vez degradan la sensibilidad y el límite de ruido de disparo del dispositivo.

20 El documento US 2014/0353471 describe una disposición de sensor de imagen CMOS en la cual se utilizan dos fotodiodos para cada píxel: uno de los cuales se encuentra apantallado respecto a la luz con el fin de generar una señal de corriente oscura que se sustrae de la señal generada por el fotodiodo no apantallado.

25 El documento US 2014/0299741 A1 se refiere a un sensor de luz ambiental transparente que utiliza fotodetectores de grafeno sensibilizados que comprenden dos tipos de puntos cuánticos dispuestos en una lámina de grafeno. Al detectar la diferencia en la respuesta de los dos tipos de puntos cuánticos, el sensor puede proporcionar luz ambiental y detección de ancho de banda. Aunque esta solución funciona para un número reducido de fotodetectores, no es escalable para aplicaciones de adquisición de imágenes que involucren una gran cantidad de píxeles (típicamente unos pocos millones), comprendiendo cada píxel un fotodetector, ya que el consumo de energía del dispositivo para polarizar simultáneamente todos los píxeles sería prohibitivo para cualquier sensor de imagen práctico. Además, la arquitectura del sensor de luz ambiental es muy diferente de la de un sensor de imagen, el último requiere una unidad de control para leer selectivamente los píxeles.

35 Es por tanto un objeto de la presente invención proporcionar un sensor de imagen mejorado en el que la integración de sus píxeles con la unidad de control se pueda realizar de una manera simple y eficiente, evitando al mismo tiempo una reducción en el factor de llenado de los píxeles debido a la presencia de electrónica de lectura "en píxel", es decir en los propios píxeles.

También es un objeto de la presente invención proporcionar un sensor de imagen en el que sus píxeles comprendan un elemento fotoactivo mejorado capaz de una alta ganancia fotoconductiva y/o una responsividad mejorada.

40 Es un objeto adicional de la presente invención proporcionar un sensor de imagen con una sensibilidad mejorada de sus píxeles, y que no requiere un enfriamiento profundo del dispositivo para lograr altas tasas de señal-ruido.

Es otro objeto más de la presente invención proporcionar un sensor de imagen muy adecuado para dispositivos optoelectrónicos flexibles y/o transparentes.

45 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

50 Los objetos de la presente invención se resuelven con el sensor de imagen con circuito de lectura no local de la reivindicación 1 y el dispositivo optoelectrónico de la reivindicación 15. Otras realizaciones favorables de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

55 Un aspecto de la presente invención se refiere a un sensor de imagen con circuito de lectura no local que comprende un sustrato, una pluralidad de píxeles dispuestos en una primera área del sustrato, y una unidad de control conectada operativamente a la pluralidad de píxeles y adaptada para polarizar selectivamente dichos píxeles y leerlos. El sensor de imagen se caracteriza porque la unidad de control comprende un primer circuito de polarización para proporcionar una primera tensión de polarización, un segundo circuito de polarización para proporcionar una segunda tensión de polarización, siendo la segunda tensión de polarización sustancialmente simétrica a la primera tensión de polarización, y un circuito de lectura para leer la foto-síñal generada por la luz que incide en los píxeles.

60 El primer circuito de polarización y el segundo circuito de polarización comprenden, respectivamente, primeros medios de selección y segundos medios de selección para polarizar selectivamente uno o más píxeles de dicha pluralidad que deben leerse en un momento dado, estando los primeros medios de selección y los segundos medios de selección dispuestos fuera de la primera área del sustrato.

65 De acuerdo con la presente invención, el sensor de imagen se caracteriza además porque cada píxel de la pluralidad

de píxeles comprende: un elemento fotoactivo que comprende una capa de fotosensibilización asociada a una capa de transporte, incluyendo la capa de transporte al menos una capa de un material bidimensional; un elemento de referencia no fotoactivo dispuesto próximo al elemento activo fotoactivo, teniendo el elemento de referencia una conductancia oscura que coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo; un primer contacto conectado circuitalmente al primer circuito de polarización; un segundo contacto conectado circuitalmente al segundo circuito de polarización; y un contacto de salida conectado circuitalmente al circuito de lectura.

Además, el elemento fotoactivo está conectado circuitalmente entre el primer contacto y el contacto de salida, y el elemento de referencia está conectado circuitalmente entre el contacto de salida y el segundo contacto.

La combinación de un elemento fotoactivo con un elemento de referencia no fotoactivo en los píxeles del sensor de imagen permite obtener el máximo beneficio de la alta ganancia fotoconductiva y de la responsividad mejorada de los fotodetectores basados en material bidimensional sensibilizado sin sufrir los inconvenientes de niveles de corriente oscura incrementados, y su posterior pérdida en la sensibilidad de los píxeles.

El elemento de referencia no fotoactivo (o ciego), junto con la interconexión particular del elemento fotoactivo y el elemento de referencia, y su polarización con tensiones de polarización sustancialmente simétricas, permiten un esquema de lectura equilibrado de la fotoseñal generada en el elemento fotoactivo de los píxeles que permite suprimir sustancialmente la corriente oscura generada en el elemento fotoactivo del píxel debido a los voltajes de polarización durante el ciclo de exposición.

De esta forma, ya no es necesario realizar renuncias en términos de rendimiento eléctrico de los elementos fotoactivos (por ejemplo, en términos de responsividad) para mantener bajos los niveles de corriente oscura. En consecuencia, independientemente de los voltajes de polarización aplicados, el sensor de imagen de la presente invención hace posible obtener una sensibilidad de píxel mejorada y altas relaciones de señal a ruido, incluso sin enfriar el dispositivo.

El elemento de referencia no fotoactivo (o ciego) dispuesto en cada píxel tiene una conductancia oscura que coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo del píxel al que está asociado dicho elemento de referencia. De esta manera, el elemento de referencia simula el comportamiento del elemento fotoactivo de dicho píxel durante el ciclo de exposición.

De acuerdo con la presente invención, la conductancia oscura de un elemento de referencia de un píxel coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo de dicho píxel si la conductancia oscura del primero no difiere de la conductancia oscura del último por más de un 25%, 20%, 15%, 10%, 8%, 5%, 3% o incluso de un 1%.

En algunas realizaciones, el elemento de referencia de cada píxel se adapta finamente de forma individual para que su conductancia oscura coincida estrechamente con la conductancia oscura de su elemento fotoactivo asociado.

Además, debido a la disposición del elemento fotoactivo entre el primer contacto y el contacto de salida y el elemento de referencia entre el contacto de salida y el segundo contacto, cuando se aplican voltajes de polarización sustancialmente simétricos al primer y segundo contactos de un píxel dado, la diferencia de voltaje en el contacto de salida de dicho píxel contiene directamente la foto-señal generada en dicho píxel por la luz incidente.

En caso de que la conductancia oscura de un elemento de referencia de un píxel coincidiera exactamente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo de dicho píxel, entonces la corriente oscura generada en el elemento fotoactivo de dicho píxel durante el ciclo de exposición sería mejor suprimida estableciendo el segundo voltaje de polarización para que sea exactamente simétrico a los primeros voltajes de polarización. Sin embargo, en situaciones prácticas, una coincidencia sustancial entre la conductancia oscura del elemento de referencia de un píxel y la de su elemento fotoactivo asociado será más probable que una coincidencia perfecta. Por esa razón, puede ser ventajoso establecer los voltajes de polarización primero y segundo en valores ligeramente diferentes, mientras siguen siendo sustancialmente simétricos, para minimizar la corriente oscura generada en el píxel. En otras palabras, una leve "desintonización" de la amplitud entre los voltajes de polarización primero y segundo puede compensar eficientemente una falta de coincidencia residual entre la conductancia oscura de la referencia y el elemento fotoactivo de un píxel.

La ganancia fotoconductiva obtenida del elemento fotoactivo de los píxeles elimina ventajosamente la necesidad de la preamplificación de la fotoseñal generada por la luz incidente dentro del píxel, a la inversa de los píxeles de APS en los que se requiere dicha preamplificación.

Además, los medios de selección primero y segundo permiten polarizar selectivamente los píxeles del sensor de imagen, habilitando solo el píxel o los píxeles que se deben leer en un momento dado, dejando los otros píxeles desactivados. De esta forma, el sensor de imagen de la presente invención no requiere elementos de selección "en píxel" para el proceso de lectura.

Dado que los elementos fotoactivos y de referencia se pueden conectar directamente entre el primer y segundo

contactos de polarización y el contacto de salida sin requerir de electrónica adicional en el píxel (como amplificadores o elementos de selección), el diseño del píxel se simplifica enormemente, maximizando el área disponible para la recolección de luz. De esta manera, es posible obtener píxeles de menor tamaño sin comprometer el factor de llenado de píxel, que aún puede ser muy alto.

5 La alta ganancia fotoconductiva del elemento fotoactivo de los píxeles combinada con el esquema de polarización equilibrado de los píxeles hace posible transferir la electrónica de lectura desde el interior de los píxeles al exterior de la primera área del sustrato ocupada por la pluralidad de píxeles. La electrónica de lectura ahora puede estar ventajosamente dispuesta en porciones periféricas de dicho sustrato o incluso en un sustrato diferente, obteniendo así un sensor de imagen con un circuito de lectura no local.

10 En el contexto de la presente invención, el término circuito de lectura no local se refiere preferiblemente al hecho de que no hay electrónica de lectura incrustada en los píxeles del sensor de imagen, en contraposición a los sensores de imagen de la técnica anterior, en los que hay electrónica de lectura en píxeles.

15 Finalmente, como no se requieren componentes electrónicos opacos y/o voluminosos en el área del sustrato ocupada por la pluralidad de píxeles, el sensor de imagen resultante es muy adecuado para su integración en dispositivos que deben ser flexibles y/o transparentes (o al menos parcialmente transparentes) al ojo humano.

20 De acuerdo con la presente invención, se considera que un dispositivo es transparente si al menos el 80% de la luz incidente en la parte visible del espectro se transmite a través de dicho dispositivo. De forma similar, se considera que un dispositivo es parcialmente transparente si al menos el 30% de la luz incidente en la parte visible del espectro se transmite a través de dicho dispositivo. Alternativamente, se considera que un dispositivo es opaco si se transmite menos del 3% de la luz incidente en la parte visible del espectro a través de dicho dispositivo.

25 También de acuerdo con la presente invención, un dispositivo que es flexible se refiere preferiblemente a un dispositivo que puede deformarse, retorcerse, doblarse, enrollarse y/o plegarse (cambiando así su forma) sin dañarse o degradarse su rendimiento.

30 En el contexto de la presente invención, el término material bidimensional se refiere preferiblemente a un material que comprende una pluralidad de átomos o moléculas dispuestos como una lámina bidimensional con un grosor sustancialmente igual al grosor de los átomos o moléculas que lo constituyen.

35 En algunas realizaciones, la capa de transporte del elemento fotoactivo de uno o más píxeles incluye al menos cinco, diez, veinte, cuarenta o incluso cincuenta capas de un material bidimensional.

También en el contexto de la presente invención, una capa de fotosensibilización asociada a una capa de transporte se refiere preferiblemente al hecho de que un electrón (o un hueco) de un par electrón-hueco generado en la capa de fotosensibilización por la absorción de un fotón puede transferirse a la capa de transporte mientras que el hueco (o el electrón) de dicho par electrón- hueco permanece atrapado en la capa de fotosensibilización, o en una interfaz entre la capa de fotosensibilización y la capa de transporte, como por ejemplo en una capa dieléctrica, una capa de óxido y/o una capa de semiconductor dispuesta entre ellos. En algunas realizaciones, la capa de fotosensibilización está dispuesta encima, tal como, por ejemplo, directamente encima, de la capa de transporte. Alternativamente, en algunas otras realizaciones, la capa de fotosensibilización está dispuesta debajo, tal como, por ejemplo, directamente debajo, de la capa de transporte, de modo que un fotón debe cruzar la capa de transporte antes de alcanzar la capa de fotosensibilización donde será absorbido.

50 En este sentido, la heterounión formada por la capa de fotosensibilización y la capa de transporte ralentiza la recombinación y permite recoger varios portadores eléctricos para un solo fotón absorbido, lo combinado con la alta movilidad de portadores del material bidimensional comprendido en la capa de transporte, da como resultado que el elemento fotoactivo de los píxeles presente una ganancia fotoconductiva y una responsividad muy altas.

Además, la sensibilidad espectral del elemento fotoactivo de los píxeles se puede adaptar ventajosamente seleccionando apropiadamente el material de la capa de fotosensibilización. De esta manera, el rango espectral para la fotodetección del elemento fotoactivo puede extenderse a lo largo de un gran ancho de banda.

55 En algunas realizaciones, la capa de fotosensibilización del elemento fotoactivo de uno o más píxeles comprende un semiconductor foto-absorbente, un polímero, un tinte, puntos cuánticos (tales como, por ejemplo, puntos cuánticos coloidales), Perovskita y/o una combinación de los mismos.

60 La capa de fotosensibilización puede comprender, por ejemplo, películas de nanocompuesto que contienen mezclas de los materiales anteriormente mencionados. También puede ser una estructura de una sola capa o, alternativamente, una estructura de varias capas, en la que uno o más de los materiales mencionados anteriormente constituyen capas diferentes apiladas entre sí, teniendo cada una grosores preferiblemente entre aproximadamente 5 nm y aproximadamente 400 nm.

65

En aquellas realizaciones en las que la capa de fotosensibilización comprende puntos cuánticos, estos son preferiblemente de uno o más de los siguientes tipos: Ag₂S, Bi₂S₃, CdS, CdSe, CdHgTe, Cu₂S, CIS (disulfuro de indio y cobre), CIGS (seleniuro de cobre indio y galio), CZTS (sulfuro-estaño de cobre y cinc), Ge, HgTe, InAs, InSb, ITO (óxido de indio y estaño), PbS, PbSe, Si, SnO₂, ZnO, and ZnS.

De manera similar, en algunas realizaciones, la al menos una capa de un material bidimensional comprendida en la capa de transporte del elemento fotoactivo de uno o más píxeles comprende uno o más de los siguientes materiales: grafeno, MoS₂, MoSe₂, WS₂, WSe₂, fósforo negro, SnS₂, y h-BN (nitruro de boro hexagonal).

En el contexto de la presente invención, se considera que dos tensiones son sustancialmente simétricas (en particular sustancialmente simétricas con respecto a una referencia de tensión) si tienen signos opuestos con respecto a dicha referencia de tensión y la magnitud de una difiere de la magnitud de la otra en menos de un 25%, 20%, 15%, 10%, 8%, 5%, 3% o incluso 1%.

También en el contexto de la presente invención, se considera que una capa (o un elemento, o un contacto, o un dispositivo) del sensor de imagen está por encima de otra, si la primera está más alejada del sustrato del sensor de imagen que la última, a lo largo de una dirección perpendicular a dicho sustrato.

De forma similar, una capa (o un elemento, o un contacto, o un dispositivo) del sensor de imagen se considera que está por debajo de otra, si la primera está más cerca del sustrato del sensor de imagen que la última, a lo largo de dicha dirección perpendicular.

También de acuerdo con la presente invención, el término encima (o debajo) no debe interpretarse como que implica que una capa (o un elemento, o un contacto, o un dispositivo) esté inmediatamente o directamente encima (o debajo) de otra, a menos que se indique explícitamente lo contrario. En ese sentido, una capa que se dispone por encima (o por debajo) de otra no excluye la posibilidad de que se dispongan capas adicionales entre esas dos.

De la misma manera, en el contexto de la presente invención, el término conectado circuitalmente se refiere preferiblemente al hecho de que una primera entidad (por ejemplo, un contacto, un elemento o un circuito) puede estar conectado con una segunda entidad por medio de un circuito, que puede comprender una o más líneas de trazado conductivas y/o uno o más componentes de circuito dispuestos operativamente entre dichas dos entidades. Por lo tanto, el término conectado circuitalmente no debe interpretarse como que requiere una conexión óhmica directa de la primera entidad a la segunda entidad (es decir, sin ningún componente de circuito intermedio) a menos que se indique explícitamente.

En algunas realizaciones, los primeros medios de selección y/o los segundos medios de selección comprenden ventajosamente una pluralidad de conmutadores o un multiplexor.

En algunas realizaciones, el primer contacto y el contacto de salida de un píxel dado están dispuestos por encima de la capa de transporte del elemento fotoactivo de dicho píxel, mientras que en otras realizaciones dicho primer contacto y dicho contacto de salida están dispuestos por debajo de la capa de transporte de dicho elemento foto-activo. En otros ejemplos más, uno de dichos dos contactos está dispuesto por encima de la capa de transporte del elemento fotoactivo del píxel, mientras que el otro está dispuesto por debajo de la capa de transporte del elemento fotoactivo.

En ciertos casos, el primer contacto, el segundo contacto y/o el contacto de salida de uno o más píxeles de la pluralidad de píxeles están hechos de un óxido conductor transparente, tal como óxido de indio y estaño (ITO).

En algunos ejemplos, la unidad de control está dispuesta en una segunda área del sustrato, donde dicha segunda área no solapa a dicha primera área en la que está dispuesta la pluralidad de píxeles. Sin embargo, en otros ejemplos, la unidad de control está dispuesta sobre otro sustrato provisto en el sensor de imagen.

En un primer grupo de realizaciones, el elemento de referencia de al menos un píxel de la pluralidad de píxeles comprende una capa de transporte, incluyendo dicha capa de transporte al menos una capa de un material bidimensional. Preferiblemente, dicho elemento de referencia comprende además una capa de fotosensibilización asociada a la capa de transporte del elemento de referencia.

Como la estructura del elemento de referencia imita a la del elemento fotoactivo del píxel, es posible obtener de manera simple un elemento de referencia con una conductancia oscura que coincide exactamente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo.

En estas realizaciones, el segundo contacto y el contacto de salida de un píxel dado pueden estar dispuestos ambos por encima, ambos por debajo, o uno por encima y el otro por debajo de la capa de transporte del elemento de referencia de dicho píxel.

En algunos ejemplos en los que el elemento de referencia de dicho al menos un píxel comprende una capa de transporte y una capa de fotosensibilización asociada al mismo, dicho elemento de referencia comprende además una primera capa de bloqueo de luz dispuesta por encima de la capa de fotosensibilización y de la capa de transporte de dicho elemento de referencia.

5 La primera capa de bloqueo de luz cubre ventajosamente la capa de fotosensibilización y la capa de transporte de dicho elemento de referencia, asegurando que no se genere una foto-señal en el elemento de referencia por la luz que incide sobre el sensor de imagen. De lo contrario, la conductancia de dicho elemento de referencia se modificaría indeseablemente y, por lo tanto, se degradaría su capacidad de abstraer el componente de corriente oscura de la foto-señal generada en el elemento fotoactivo del píxel.

Más preferiblemente, el elemento de referencia de dicho al menos un píxel también comprende una segunda capa de bloqueo de luz dispuesta por debajo de la capa de fotosensibilización y de la capa de transporte de dicho elemento de referencia.

15 La segunda capa de bloqueo de luz protege la capa de fotosensibilización y la capa de transporte de dicho elemento de referencia de la luz que podría llegar a través del sustrato del sensor de imagen, como podría suceder en aquellos casos en que el sensor de imagen comprendiese un sustrato delgado y/o transparente.

20 En el contexto de la presente invención, la expresión capa de bloqueo de luz se refiere preferentemente al hecho de que dicha capa es opaca para el rango de longitudes de onda de funcionamiento del elemento fotoactivo de la pluralidad de píxeles. Sin embargo, dicha capa puede ser al mismo tiempo transparente, o al menos parcialmente transparente, para el ojo humano.

25 Alternativamente, el sensor de imagen puede comprender un sustrato que es opaco para el rango de longitudes de onda de funcionamiento del elemento fotoactivo de la pluralidad de píxeles. Tal característica elimina ventajosamente la necesidad de una segunda capa de bloqueo de luz en el elemento de referencia de dicho al menos un píxel.

30 En una realización, la primera y/o la segunda capas de bloqueo de luz toman la forma de una capa de pasivación, comprendiendo dicha capa de pasivación preferiblemente un óxido.

Alternativamente, en otros ejemplos de tales casos, la capa de fotosensibilización del elemento de referencia de dicho al menos un píxel no es sensible en el rango de longitudes de onda de funcionamiento del elemento fotoactivo de dicho píxel.

35 Esto da como resultado un diseño de elemento de referencia más simple porque elimina la necesidad de capas de bloqueo de luz, ya que la luz que incide sobre dicho elemento de referencia no puede ser absorbida por su capa fotosensible.

40 En el contexto de la presente invención, se considera que una capa de fotosensibilización del elemento de referencia de un píxel no es sensible en el rango de longitudes de onda de funcionamiento del elemento fotoactivo de dicho píxel si la absorbancia espectral de la capa de fotosensibilización de dicho elemento de referencia en cualquier longitud de onda dada dentro de ese rango es menor que un 25% de la absorbancia espectral más baja del elemento fotoactivo para el rango de longitudes de onda de funcionamiento.

45 En algunas realizaciones de este primer grupo, la capa de transporte del elemento de referencia de dicho al menos un píxel tiene un área más pequeña que la capa de transporte del elemento fotoactivo. De esta forma, se minimiza la sobrecarga en superficie ocupada debida a la presencia del elemento de referencia en el píxel.

50 Para evitar alterar la conductancia oscura del elemento de referencia, que debe coincidir sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo contenido en el mismo píxel, la capa de transporte del elemento de referencia puede tener preferiblemente la misma forma (o geometría o factor de forma) que la capa de transporte del elemento fotoactivo.

55 Alternativamente, en el caso de que la capa de transporte del elemento de referencia y la del elemento fotoactivo de un píxel tengan diferentes formas, entonces el dopaje de la capa de transporte del elemento de referencia puede variar ventajosamente con respecto al dopaje de la capa de transporte del elemento fotoactivo de modo que la conductancia oscura de la primera coincide sustancialmente con la conductancia oscura de la última.

60 En algunos casos, las dimensiones transversales del elemento de referencia de uno o más píxeles de la pluralidad de píxeles están por debajo del límite de difracción para el rango de longitudes de onda de funcionamiento del elemento fotoactivo de dichos píxeles. De esta manera, el elemento de referencia de dichos píxeles no bloquea ninguna luz incidente en el sensor de imagen.

65 Opcionalmente, el elemento de referencia de al menos un píxel de la pluralidad de píxeles está dispuesto por debajo

del elemento fotoactivo de dicho píxel. Tal disposición explota ventajosamente la tercera dimensión de la estructura para obtener una arquitectura más compacta. Además, disponiendo el elemento de referencia por debajo del elemento fotoactivo, se evita adicionalmente la absorción de luz por la capa de transporte y/o por la capa de fotosensibilización del elemento de referencia.

5 Sin embargo, en otras realizaciones, el elemento de referencia de un píxel está dispuesto en un mismo nivel que el elemento fotoactivo de dicho píxel.

10 En algunos ejemplos, el sensor de imagen comprende además una o más capas aislantes primarias asociadas al elemento fotoactivo de la pluralidad de píxeles. En estos ejemplos, al menos un píxel de la pluralidad de píxeles comprende preferiblemente:

- un contacto de puerta trasera dispuesto por debajo del elemento fotoactivo de dicho al menos un píxel, entre una capa aislante primaria dispuesta por debajo de dicho elemento fotoactivo y el sustrato; y/o
- un contacto de puerta superior dispuesto por encima del elemento fotoactivo de dicho al menos un píxel.

15 Al proporcionar un contacto de puerta trasera y/o un contacto de puerta superior, el elemento fotoactivo de los píxeles puede ser controlado por su puerta para controlar con precisión la conducción y la fotosensibilidad de la capa de fotosensibilización.

20 Preferiblemente, el contacto de puerta superior y/o el contacto de puerta trasera están hechos de un material transparente, para no obstaculizar las capacidades de absorción de luz del elemento fotoactivo de los píxeles.

25 En aquellos casos en los que un píxel comprende un contacto de puerta superior dispuesto por encima de su elemento fotoactivo, el sensor de imagen comprende preferiblemente una (o más) capas aislantes primarias dispuestas entre dicho contacto de puerta superior y el elemento fotoactivo de dicho píxel

En algunas realizaciones de dicho primer grupo, el sensor de imagen también puede comprender una o más capas aislantes secundarias asociadas al elemento de referencia de la pluralidad de píxeles. Entonces, en dichas realizaciones, al menos un píxel de la pluralidad de píxeles comprende preferiblemente:

- 30 - un contacto de puerta trasera dispuesto por debajo del elemento de referencia de dicho al menos un píxel, entre una capa aislante secundaria dispuesta por debajo de dicho elemento de referencia y el sustrato; y/o
- un contacto de puerta superior dispuesto por encima del elemento de referencia de dicho al menos un píxel.

35 Al proporcionar un contacto de puerta trasera y/o un contacto de puerta superior, el elemento de referencia de los píxeles puede ser controlado por su puerta para controlar con precisión su conductancia.

40 De acuerdo con la presente invención, una capa aislante primaria asociada a un elemento fotoactivo se refiere preferiblemente al hecho de que dicha capa aislante está dispuesta por encima (como, por ejemplo, directamente encima) o alternativamente por debajo (como, por ejemplo, directamente debajo) de ambas la capa de transporte y la capa de fotosensibilización de dicho elemento fotoactivo.

45 De forma similar, también de acuerdo con la presente invención, una capa aislante secundaria asociada a un elemento de referencia se refiere preferiblemente al hecho de que dicha capa aislante está dispuesta por encima (como, por ejemplo, directamente encima) o alternativamente por debajo (como, por ejemplo, directamente debajo) de dicho elemento de referencia. En ese sentido, si un elemento de referencia comprende una capa de transporte y una capa de fotosensibilización, entonces la capa aislante secundaria estaría dispuesta por encima o por debajo de ambas capas de dicho elemento de referencia.

Preferiblemente, dicha una o más capas aislantes primarias y/o secundarias comprenden un óxido.

50 En algunos casos, el sensor de imagen comprende además una capa de encapsulación dispuesta por encima de la pluralidad de píxeles. De esta manera, los elementos fotoactivos y los elementos de referencia de los píxeles se protegen ventajosamente. Preferiblemente, la capa de encapsulación comprende un material dieléctrico que tiene un ancho de banda amplio, para minimizar la absorción de luz en las longitudes de onda de funcionamiento de los elementos fotoactivos.

55 En algunas realizaciones del sensor de imagen de la presente invención, la pluralidad de píxeles se agrupa en grupos, cada grupo comprendiendo uno o más píxeles, siendo sensible la capa de fotosensibilización del elemento fotoactivo de uno o más píxeles de cada grupo a un rango diferente del espectro

60 Esto permite obtener un sensor de imagen con un rango de frecuencia de funcionamiento extendido, que abarca desde fotones de rayos X y luz ultravioleta (UV) hasta los infrarrojos (IR), incluido el infrarrojo cercano (NIR), el infrarrojo de onda corta (SWIR), el infrarrojo de onda media (MWIR) y el infrarrojo de onda larga (LWIR), e incluso frecuencias de THz. También permite implementar sensores de imagen que tienen píxeles multicolores, por ejemplo, adaptando las propiedades del material seleccionado para la capa de fotosensibilización.

65

En una realización preferida del sensor de imagen de la presente invención, la pluralidad de píxeles está dispuesta como una matriz bidimensional que comprende una pluralidad de filas, comprendiendo cada fila el mismo número de píxeles. En dichas realizaciones, los primeros medios de selección y los segundos medios de selección comprenden, respectivamente, primeros conmutadores de selección de fila y segundos conmutadores de selección de fila para polarizar selectivamente las filas de la matriz.

Los primeros y segundos conmutadores de selección de filas permiten habilitar solo una fila (o unas pocas filas) de la matriz, dejando las otras filas deshabilitadas. De esta manera, el consumo de potencia del sensor de imagen durante el funcionamiento se reduce ventajosamente.

Preferiblemente, la unidad de control está operativamente conectada a los primeros conmutadores de selección de fila y a los segundos conmutadores de selección de fila, y está configurada para leer secuencialmente las filas de píxeles activando el primer conmutador de selección de fila y el segundo conmutador de selección de fila de una fila a la vez.

Al polarizar las filas secuencialmente, la conexión de los píxeles de la matriz al circuito de lectura se simplifica enormemente, ya que los píxeles ubicados en filas diferentes (por ejemplo, los píxeles que forman una columna en la matriz bidimensional) pueden ser, por ejemplo, conectados según un esquema de cadena margarita al circuito de lectura. En dicha configuración, en cualquier momento durante el proceso de lectura, los píxeles en las filas no seleccionadas permanecen desactivados sin cargar el camino eléctrico que conecta un píxel determinado de la fila seleccionada con el circuito de lectura.

En algunos ejemplos de dicha realización preferida, el circuito de lectura comprende:

- un multiplexor que comprende tantos terminales de entrada como píxeles existentes en cada fila y un terminal de salida, estando conectado cada terminal de entrada del multiplexor de forma circuital al contacto de salida de un píxel de cada fila; y
- un amplificador conectado operativamente en serie al terminal de salida del multiplexor.

Además, en dichos ejemplos, el circuito de lectura comprende opcionalmente un elemento de almacenamiento configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en un píxel de la pluralidad de píxeles, estando el elemento de almacenamiento conectado operativamente en serie al amplificador.

Dado que la mayor parte de la electrónica de lectura es compartida por todos los píxeles de la matriz bidimensional, en estos ejemplos se minimiza la sobrecarga en superficie ocupada debida al circuito de lectura.

Alternativamente, en algunos otros ejemplos de dicha realización preferida, el circuito de lectura comprende:

- tantos amplificadores como píxeles hay en cada fila, donde cada amplificador tiene un terminal de entrada, conectado de manera circuital al contacto de salida de un píxel de cada fila, y un terminal de salida; y preferiblemente
- un elemento de almacenamiento conectado en serie al terminal de salida de cada amplificador, estando configurado cada elemento de almacenamiento para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en un píxel de la pluralidad de píxeles.

Tal caso constituye un buen compromiso de diseño, ya que los requisitos de superficie ocupada adicionales para acomodar un amplificador diferente para los píxeles que forman cada columna de la matriz se contrarrestan con una lectura de píxeles más rápida y más robustez frente al ruido, sin aumentar la complejidad del diseño de píxel.

En algunos ejemplos adicionales de dicha realización preferida, el circuito de lectura comprende:

- para cada columna de un primer grupo de columnas de la matriz bidimensional, un único amplificador conectado de manera circuital al contacto de salida de los píxeles de dicha columna; y
- para las columnas de un segundo grupo de columnas de la matriz bidimensional, un amplificador conectado de forma circuital al contacto de salida de los píxeles de las columnas de dicho segundo grupo.

Esta opción proporciona ventajosamente una mayor flexibilidad para adaptar el procesamiento de las fotoseñales generadas en diferentes áreas del sensor de imagen.

Todavía en algunos otros ejemplos de dicha realización preferida, al menos un píxel de la pluralidad de píxeles comprende un amplificador incorporado dentro del píxel. Preferiblemente, dicho al menos un píxel también comprende un elemento de almacenamiento conectado en serie a un terminal de salida de dicho amplificador.

La amplificación "en píxel" hace que el píxel sea más robusto al ruido y permite una lectura de píxeles más rápida, mejorando la escalabilidad de la matriz de píxeles del sensor de imagen, que puede ser preferible para esas aplicaciones del sensor de imagen en las que se requiere un gran ancho de banda y un rendimiento alto.

La unidad de control incluye preferiblemente un circuito de interconexión (tal como, por ejemplo, pero no limitado a,

un multiplexor) conectado operativamente al circuito de lectura y que comprende uno o más nodos de salida. El circuito de interconexión permite conectar circuitalmente, a través del circuito de lectura, el contacto de salida de cualquiera de los píxeles de la matriz con al menos uno de los uno o más nodos de salida.

5 En algunas realizaciones, la unidad de control comprende una etapa de post-amplificación operativamente conectada a al menos un nodo de salida del uno o más nodos de salida del circuito de interconexión.

Opcionalmente, la unidad de control comprende además una etapa de muestreo doble de correlación conectada operativamente entre dicho al menos un nodo de salida del circuito de interconexión y la etapa de post-amplificación.
10 La etapa de muestreo doble de correlación elimina ventajosamente cualquier desplazamiento no deseado en los valores detectados a partir de las fotoseñales leídas desde los píxeles y reduce los componentes de ruido de lectura.

También opcionalmente, la unidad de control comprende además un convertidor analógico a digital conectado operativamente después de la etapa de post-amplificación. De esta forma, las salidas del sensor de imagen pueden interconectarse directamente con la circuitería digital, tal como, por ejemplo, una matriz de puertas programables en campo (FPGA), un procesador de señal digital (DSP), un microprocesador o un microcontrolador.
15

En ciertas realizaciones del sensor de imagen de la presente invención, el sustrato es de un material flexible y, preferiblemente, transparente. El sustrato puede estar hecho de tereftalato de polietileno (PET) o naftalato de polietileno (PEN), entre otros materiales posibles.
20

De esta forma, las propiedades mecánicas y/u ópticas del sustrato coinciden muy bien con las de los materiales utilizados en la capa de fotosensibilización y/o la capa de transporte de los elementos fotoactivos o los elementos de referencia de los píxeles, lo que permite obtener un sensor de imagen verdaderamente flexible y/o transparente.
25

Opcionalmente en dichas realizaciones, el sensor de imagen comprende además líneas de trazado conductivas que conectan el primer circuito de polarización, el segundo circuito de polarización y el circuito de lectura con, respectivamente, el primer contacto, el segundo contacto y el contacto de salida de los píxeles de la pluralidad de píxeles. Además, dichas líneas de trazado conductivas están hechas de un material conductor flexible y, preferentemente, transparente.
30

Dichas líneas de trazado conductivas se extienden a través de dicha primera área del sustrato y desde/hacia la unidad de control situada en porciones periféricas del sustrato, fuera de dicha primera área, y conectan el primer y segundo contactos de los píxeles con, respectivamente, el primer y segundo circuitos de polarización y el contacto de salida de los píxeles con el circuito de lectura.
35

En algunos ejemplos, al menos algunas de dichas líneas de trazado conductivas están hechas de un óxido conductor transparente, tal como óxido de indio y estaño (ITO), aunque en otros ejemplos pueden estar hechas de otros materiales metálicos (y generalmente conductivos) siempre que tengan propiedades flexibles y/o transparentes.
40

Adicionalmente, cuando dichas líneas de trazado conductivas están hechas de un material flexible que no es transparente, dichas líneas de trazado conductivas pueden hacerse lo suficientemente delgadas como para tener un ancho que esté por debajo del límite de difracción para el rango de longitudes de onda de funcionamiento del elemento fotoactivo de dichos píxeles.
45

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un dispositivo optoelectrónico que comprende un sensor de imagen según la presente invención.

En algunas realizaciones, el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo ponible/llevable, tal como, por ejemplo, pero sin limitarse a, un reloj de pulsera, un dispositivo adaptado para ser fijado al cuerpo, una prenda de vestir (por ejemplo, textil), una pulsera, unas gafas o una gafas protectoras. Un sensor de imagen flexible de acuerdo con la presente invención puede de manera ventajosa ser fijado a, o embebido en, un dispositivo ponible/llevable.
50

En algunas realizaciones alternativas o complementarias, el dispositivo optoelectrónico comprende un panel transparente, tal como un parabrisas, una ventana, o una pantalla de un dispositivo portátil (por ejemplo, un teléfono inteligente o una tableta), en el que está dispuesto el sensor de imagen. Preferiblemente, dicho panel transparente está hecho de vidrio, plástico o un material flexible.
55

Las propiedades de transparencia y flexibilidad que se pueden obtener con los sensores de imagen de acuerdo con la presente invención hacen que estos sensores de imagen sean muy adecuados para dispositivos de consumo en general, dispositivos portátiles y/o aplicaciones móviles, entre otros. Sin embargo, estos sensores de imagen también se pueden integrar ventajosamente en dispositivos médicos o en dispositivos para aplicaciones de automoción, entre otros.
60

65 Un método para fabricar un sensor de imagen con un circuito de lectura no local tal como se describió anteriormente,

en el que el sensor de imagen comprende una pluralidad de píxeles conectados operativamente a una unidad de control adaptada para polarizar selectivamente dichos píxeles y leerlos, comprende las etapas de :

- a) proporcionar una capa de transporte que incluye al menos una capa de un material bidimensional, y una capa de fotosensibilización asociada a la capa de transporte, en una primera área de un sustrato;
- b) proporcionar un primer circuito de polarización, un segundo circuito de polarización y un circuito de lectura en la unidad de control, donde el primer circuito de polarización proporciona una primera tensión de polarización, el segundo circuito de polarización proporciona una segunda tensión de polarización sustancialmente simétrica a la primera tensión de polarización, y el circuito de lectura está adaptado para leer la fotoseñal generada por la luz que incide sobre los píxeles;
- c) disponer primeros medios de selección y segundos medios de selección provistos, respectivamente, en el primer circuito de polarización y en el segundo circuito de polarización fuera de la primera área del sustrato, estando adaptados los primeros medios de selección y los segundos medios de selección para polarizar selectivamente uno o más píxeles de dicha pluralidad que deben leerse en un momento dado;

en el que, para cada píxel de la pluralidad de píxeles, el método comprende además:

- d) definir un elemento fotoactivo en una ubicación seleccionada de la capa de transporte y de la capa de fotosensibilización dispuesta en la primera área del sustrato, y conectar circuitalmente el elemento fotoactivo entre un primer contacto y un contacto de salida provisto en dicho píxel;
- e) disponer un elemento de referencia no fotoactivo próximo al elemento activo fotoactivo de dicho píxel, teniendo el elemento de referencia una conductancia oscura que coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo, y conectando circuitalmente el elemento de referencia entre dicho contacto de salida y un segundo contacto provisto en dicho píxel;
- f) conectar circuitalmente el primer contacto, el segundo contacto, y el contacto de salida de dicho píxel con, respectivamente, el primer circuito de polarización, el segundo circuito de polarización y el circuito de lectura de la unidad de control.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

A continuación, se describirán algunas realizaciones preferidas de la invención con referencia a las figuras adjuntas. Se proporcionan solo con fines ilustrativos sin limitar el alcance de la invención.

La Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de un sensor de imagen de ejemplo de acuerdo con la presente invención.

Las figuras 2a y 2b corresponden a una vista en planta inferior y una vista en sección transversal de un píxel para el sensor de imagen de la figura 1, en el que el primer contacto, el segundo contacto y el contacto de salida del píxel están dispuestos por debajo de la capa de transporte del elemento fotoactivo y de la capa de transporte del elemento de referencia del píxel.

Las Figuras 3a y 3b muestran, en una vista en planta inferior y una vista en sección transversal, un diseño de píxel alternativo para el sensor de imagen de la figura 1, en el que el primer contacto, el segundo contacto y el contacto de salida del píxel están dispuestos por encima de la capa de transporte del elemento fotoactivo y de la capa de transporte del elemento de referencia del píxel.

La figura 4 ilustra una vista en sección transversal de un píxel para un sensor de imagen según la presente invención, en el que la capa de transporte del elemento de referencia del píxel tiene un área menor que la capa de transporte del elemento fotoactivo de dicho píxel. .

La figura 5 corresponde a una vista en sección transversal de un píxel adecuado para un sensor de imagen de acuerdo con la presente invención, en el que el elemento de referencia del píxel está dispuesto por debajo del elemento fotoactivo de dicho píxel.

Las Figuras 6a y 6b son una vista en planta inferior y una vista en sección transversal de un píxel para un sensor de imagen según la presente invención, en el que el píxel comprende un contacto de puerta trasera por debajo del elemento fotoactivo.

Las Figuras 7a y 7b representan una vista en planta inferior y una vista en sección transversal de otro píxel para un sensor de imagen según la presente invención, en el que el píxel comprende un contacto de puerta trasera por debajo de cada uno del elemento fotoactivo y del elemento de referencia

La figura 8a muestra un diagrama de bloques esquemático de una realización de un sensor de imagen de acuerdo con la presente invención en el que el circuito de lectura comprende un multiplexor seguido de un amplificador y un elemento de almacenamiento conectado en cascada al mismo.

La Figura 8b es un diagrama de bloques esquemático de otra realización de un sensor de imagen según la presente invención en el que el circuito de lectura comprende tantos amplificadores como píxeles hay en cada fila de la matriz

de píxeles y un elemento de almacenamiento conectado en serie al nodo de salida de cada amplificador.

La figura 9 es una representación detallada, en una vista en sección transversal, del área A en la figura 1 en la que se ilustra el cruce de diferentes líneas de trazado conductivas.

5 Las Figuras 10a-10g representan los diferentes pasos en el proceso de fabricación de un píxel del sensor de imagen de la figura 1.

10 La Figura 11 es una representación esquemática de un sensor de imagen de ejemplo en el que sus píxeles están agrupados en grupos, siendo cada grupo sensible a un rango diferente del espectro.

La figura 12 muestra un diagrama de bloques de un dispositivo optoelectrónico de acuerdo con una realización de la presente invención.

15 **DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS**

En la figura 1 se ilustra un diagrama de bloques esquemático de una realización de un sensor de imagen con un circuito de lectura no local según la presente invención. El sensor de imagen 100 comprende una pluralidad de píxeles 101 dispuestos como una matriz bidimensional de M filas y N columnas en una primera área 102a de un sustrato 102. En particular, la figura 1 corresponde a una vista en planta inferior del sensor de imagen 100, es decir, como se ve a través del sustrato 102.

20 El sensor de imagen 100 comprende además una unidad de control conectada operativamente a la pluralidad de píxeles 101 y adaptada para polarizar selectivamente dichos píxeles y leerlos. La unidad de control comprende un primer circuito de polarización 103a para proporcionar un primer voltaje de polarización V_{DD} , un segundo circuito de polarización 103b para proporcionar un segundo voltaje de polarización V_{SS} , el segundo voltaje de polarización V_{SS} que es sustancialmente simétrico al primer voltaje de polarización V_{DD} , y un circuito de lectura 104 para leer la foto-sígnal generada por la luz que incide sobre los píxeles 101. La unidad de control también incluye una pluralidad de nodos de salida 111 conectados operativamente al circuito de lectura 104.

25 El primer circuito de polarización 103a y el segundo circuito de polarización 103b comprenden, respectivamente, primeros medios de selección 105a y segundos medios de selección 105b para polarizar selectivamente uno o más píxeles 101 de dicha pluralidad que deben leerse en un momento dado. Los primeros medios de selección 105a y los segundos medios de selección 105b están dispuestos fuera de la primera área 102a del sustrato 102 y, como se ilustra en el ejemplo de la figura 1, comprenden una pluralidad de conmutadores (implementados como transistores controlados por puerta).

30 Cada píxel 101 de la pluralidad de píxeles comprende un elemento fotoactivo 106 y un elemento de referencia 107 no fotoactivo dispuesto próximo al elemento activo fotoactivo 106. Además, cada píxel 101 comprende además un primer contacto 108a conectado circuitalmente al primer circuito de polarización 103a, un segundo contacto 108b conectado circuitalmente al segundo circuito de polarización 103b, y un contacto de salida 109 conectado circuitalmente al circuito de lectura 104.

35 El elemento fotoactivo 106 está conectado circuitalmente entre el primer contacto 108a y el contacto de salida 109, mientras que el elemento de referencia 107 está conectado circuitalmente entre el contacto de salida 109 y el segundo contacto 108b. El elemento de referencia 107 tiene una conductancia oscura que coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo 106, lo que hace posible suprimir sustancialmente la corriente oscura generada en el elemento fotoactivo 106 durante el ciclo de exposición.

40 Como se puede ver con mayor detalle en la vista en sección transversal de la figura 2b, el elemento fotoactivo 106 comprende una capa de fotosensibilización 201 asociada a una capa de transporte 202 que incluye al menos una capa de un material bidimensional. De forma similar, el elemento de referencia 107 también comprende una capa de fotosensibilización 203 asociada a una capa de transporte 204 que incluye al menos una capa de un material bidimensional.

45 En este ejemplo, la capa de fotosensibilización 201 del elemento fotoactivo 106 y la capa de fotosensibilización 203 del elemento de referencia 107 están dispuestas por encima (y, en particular, directamente encima) de la capa de transporte 202 y 204, respectivamente. Sin embargo, en otros ejemplos, la capa de fotosensibilización del elemento fotoactivo o la del elemento de referencia se puede disponer por debajo de su capa de transporte correspondiente.

50 El sensor de imagen 100 comprende además primeras líneas de trazado conductivas 110a y segundas líneas de trazado conductivas 110b que conectan el primer circuito de polarización 103a y el segundo circuito de polarización 103b con, respectivamente, el primer contacto 108a y el segundo contacto 108b de los píxeles. En el ejemplo de la figura 1, dichas primeras y segundas líneas de trazado conductivas 110a, 110b se extienden horizontalmente a través de la primera área 102a del sustrato desde el primer y segundo circuitos de polarización 103a, 103b situados en las

porciones más a la izquierda y más a la derecha del sustrato 102, fuera de la primera área 102a.

Adicionalmente, el sensor de imagen 100 también comprende terceras líneas de trazado conductivas 110c (que en la figura 1 se extienden a lo largo de la dirección vertical) que conectan los contactos de salida 109 de los píxeles en una configuración de cadena tipo margarita con el circuito de lectura 104, que está dispuesto en la porción superior del sustrato 102, fuera de dicha primera área 102a.

El sustrato 102 está hecho de un material flexible y transparente, tal como, por ejemplo, PET o PEN. Además, el primer contacto 108a, el segundo contacto 108b y el contacto de salida 109 de los píxeles 101, y dichas líneas de trazado conductivas 110a, 110b, 110c, están hechos de un óxido conductor transparente, como por ejemplo ITO.

En el sensor de imagen 100, el primer circuito de polarización 103a, el segundo 103b y el circuito de lectura 104 (los tres están comprendidos en la unidad de control del sensor de imagen 100) están dispuestos en una segunda área 102b situada en la periferia del mismo sustrato 102, por lo tanto, no solapándose con la primera área 102a sobre la cual está dispuesta la pluralidad de píxeles 101. Sin embargo, en otros ejemplos, la unidad de control puede estar dispuesta en un sustrato diferente provisto en el sensor de imagen.

Con referencia ahora a las figuras 2a y 2b, se muestra el diseño de un píxel 101 del sensor de imagen 100 en el que el elemento fotoactivo 106 está dispuesto junto al elemento de referencia 107 en un mismo nivel. En este ejemplo, la capa de transporte 202 del elemento fotoactivo 106 y la capa de transporte 204 del elemento de referencia 107 son coplanares. El primer contacto 108a y el contacto de salida 109 (en extremos opuestos del elemento fotoactivo 106) están dispuestos por debajo de la capa de transporte 202, mientras que el segundo contacto 108b y el contacto de salida 109 (en extremos opuestos del elemento de referencia 107) están dispuestos por debajo de la capa de transporte 204.

El elemento de referencia 107 comprende además una primera capa de bloqueo de luz 205 dispuesta por encima de la capa de fotosensibilización 203 y de la capa de transporte 204, y una segunda capa de bloqueo de luz 206 dispuesta por debajo de dicha capa de fotosensibilización 203 y de dicha capa de transporte 204. En particular, la primera capa de bloqueo de luz 205 está dispuesta directamente encima de la capa de fotosensibilización 203, mientras que la segunda capa de bloqueo de luz 206 está separada de la capa de transporte 204 por una capa aislante 207. La primera y segunda capas de bloqueo de luz 205, 206 son capas de pasivación que comprenden un óxido

Las figuras 3a y 3b ilustran un ejemplo alternativo de un diseño de píxel que puede usarse en el sensor de imagen 100 de la figura 1. Por simplicidad, los elementos en común con la estructura de píxel de las figuras 2a y 2b han sido etiquetados con los mismos números de referencia. El elemento fotoactivo 106 está conectado circuitalmente entre un primer contacto 308a y un contacto de salida 309, mientras que el elemento de referencia 107 está conectado de forma circuital entre el contacto de salida 309 y un segundo contacto 308b. A la inversa del caso ilustrado en las figuras 2a y 2b, ahora el primer contacto 308a y el contacto de salida 309 están dispuestos por encima de la capa de transporte 202, más específicamente entre dicha capa de transporte 202 y la capa de fotosensibilización 201. Del mismo modo, el segundo contacto 308b y el contacto de salida 309 están dispuestos por encima de la capa de transporte 204, entre dicha capa de transporte 204 y la capa de fotosensibilización 203.

Las capas de transporte 202, 204 están distanciadas con respecto al sustrato 102 por medio de una capa aislante 307, que proporciona soporte mecánico para la deposición del contacto de salida 309 en la región entre dichas capas de transporte 202, 204.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 1, se puede observar que las primeras y segundas líneas de trazado conductivas 110a, 110b cruzan en un cierto número de lugares las terceras líneas de trazado conductivas 110c. Para evitar el contacto eléctrico entre diferentes líneas de trazado conductivas, las terceras líneas de trazado conductivas 110c se elevan para pasar por encima de las primeras y segundas líneas de trazado conductivas 110a, 110b. Una capa aislante intermedia impide además el contacto eléctrico entre las líneas de trazado conductivas. Por este motivo, las terceras líneas de trazado conductivas 110c comprenden ventajosamente una porción vertical (tal como una vía) a través de la capa aislante intermedia para hacer una conexión óhmica con el contacto de salida 109 de los píxeles.

Uno de tales cruces, en particular el que se produce en la región A del sensor de imagen de la figura 1, se ilustra en la vista en sección transversal de la figura 9, en la que una tercera línea de trazado conductiva 110c cruza por encima de una segunda línea de trazado conductiva 110b, estando ambas líneas de trazado separadas por una capa aislante intermedia 900. La tercera línea de trazado conductiva 110c comprende una porción vertical 901 que pasa a través de la capa aislante intermedia 900 para alcanzar el nivel en el que está dispuesto el contacto de salida 109 de los píxeles.

Alternativamente, los píxeles del sensor de imagen pueden tener ventajosamente los contactos primero y segundo 108a, 108b dispuestos por debajo de las capas de transporte 202, 204, y el contacto de salida 109 dispuesto por encima de las capas de transporte 202, 204. En este caso, como las primeras y las segundas líneas de trazado conductivas 110a, 110b estarán siempre por debajo de las terceras líneas de trazado conductivas 110c, se evita el contacto eléctrico entre las líneas de trazado. Además, las terceras líneas de trazado conductivas 110c podrían no

necesitar más porciones verticales para hacer una conexión óhmica con el contacto de salida 109 de los píxeles. Sin embargo, incluso en este caso, se prefiere todavía tener una capa aislante intermedia para aislar adicionalmente las primeras y las segundas líneas de trazado conductivas de las terceras líneas de trazado conductivas.

5 Con referencia ahora a la figura 4, se muestra allí en una vista en sección transversal otro ejemplo de un píxel adecuado para un sensor de imagen de acuerdo con la presente invención. En particular, un píxel 401 está dispuesto sobre un sustrato 400 y comprende un elemento fotoactivo 402 y un elemento de referencia 403 dispuestos uno junto al otro en una configuración coplanar. El elemento fotoactivo 402 está conectado circuitalmente entre un primer contacto 410a y un contacto de salida 409, mientras que el elemento de referencia 403 está conectado de forma
10 circuital entre el contacto de salida 409 y un segundo contacto 410b. Además, se ha provisto una capa aislante 413 sobre el sustrato 400, por debajo del elemento fotoactivo 402 y de un elemento de referencia 403.

El elemento fotoactivo 402 comprende una capa de fotosensibilización 405 asociada a una capa de transporte 406, que está dispuesta por debajo de la capa de fotosensibilización 405 e incluye al menos una capa de un material bidimensional. Asimismo, el elemento de referencia 403 también comprende una capa de fotosensibilización 407 asociada a otra capa de transporte 408, que está dispuesta por debajo de la capa de fotosensibilización 407 e incluye al menos una capa de un material bidimensional. El primer contacto 410a, el segundo contacto 410b y el contacto de salida 409 están intercalados entre las capas de fotosensibilización 405, 407 y las capas de transporte 406, 408.
15

En este ejemplo, la capa de transporte 408 del elemento de referencia tiene un área más pequeña que la capa de transporte 406 del elemento fotoactivo, reduciendo ventajosamente la sobrecarga en superficie ocupada debida a la presencia del elemento de referencia 403 en el píxel 401. A pesar de ser de menor tamaño, la capa de transporte 408 tiene la misma forma que la capa de transporte 406 con el fin de asegurar que la conductancia oscura del elemento de referencia 403 coincida sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo 402.
20

Finalmente, como en los ejemplos anteriores, el elemento de referencia 403 también comprende una primera capa de bloqueo de luz 411 dispuesta por encima de la capa de fotosensibilización 407 y una segunda capa de bloqueo de luz 412 dispuesta por debajo de la capa de transporte 408, de modo que se impide la absorción de la luz incidente en el elemento de referencia 403.
25

Un ejemplo adicional de un píxel adecuado para un sensor de imagen según la invención se representa en la figura 5, en la que un píxel 501 está dispuesto sobre un sustrato 500 y comprende un elemento de referencia 503 dispuesto por debajo de un elemento fotoactivo 502, dando como resultado una arquitectura compacta con huella reducida.
30

El elemento fotoactivo 502 comprende una capa de fotosensibilización 504 dispuesta por encima de una capa de transporte 505. Por debajo del elemento fotoactivo 502, el elemento de referencia 503 también comprende una capa de fotosensibilización 506 dispuesta por encima de otra capa de transporte 507. Una capa aislante primaria 512 asociada al elemento fotoactivo 502 está dispuesta entre el elemento fotoactivo 502 y el elemento de referencia 503, para proporcionar aislamiento entre los dos elementos.
35

El elemento de referencia 503 comprende una primera capa de bloqueo de luz 511 dispuesta por encima de su capa de fotosensibilización 506 y una segunda capa de bloqueo de luz 510 dispuesta por debajo de la capa de transporte 507, separada de dicha capa de transporte 507 por medio de una capa aislante secundaria 513.
40

La forma de contactar el elemento fotoactivo 502 y el elemento de referencia 503 es algo diferente de lo que se ha descrito anteriormente para los ejemplos previos. Un primer contacto 508a y un segundo contacto 508b se proporcionan a diferentes niveles en un mismo lado del píxel (concretamente, en el lado derecho de la figura 5) y están conectados circuitalmente a un primer extremo del elemento fotoactivo 502 y del elemento de referencia 503, respectivamente.
45

En el lado opuesto del píxel 501 (en el lado izquierdo de la figura), un contacto de salida común 509 está conectado circuitalmente a un segundo extremo del elemento fotoactivo 502 y del elemento de referencia 503. El contacto de salida 509 comprende una porción vertical que se extiende desde la capa de transporte 505 del elemento fotoactivo a la capa de transporte 507 del elemento de referencia.
50

La geometría de los elementos fotoactivos de los ejemplos anteriores se puede definir a través del diseño de la capa de transporte, que permite maximizar el área de recolección de luz o adaptar relaciones de aspecto específicas para la optimización de diferentes parámetros de rendimiento (como por ejemplo, pero no limitado a, ruido, la responsividad y resistencia).
55

Las figuras 6a-6b y 7a-7b representan dos configuraciones de píxeles basadas en el ejemplo ya discutido en el contexto de las figuras 3a-3b en las que el píxel comprende adicionalmente contactos de puerta trasera.
60

En el ejemplo de las figuras 6a-6b, el píxel 601 comprende un contacto de puerta trasera 600 dispuesto por debajo del elemento fotoactivo 106, entre la capa aislante 307 y el sustrato 102. En este caso, la capa aislante 307 es una
65

capa aislante primaria asociada al elemento fotoactivo 106 que, junto con el contacto de puerta trasera 600, permite controlar finamente la conducción y la fotosensibilidad de dicho elemento fotoactivo 106.

5 Como se muestra en la figura 6a, el píxel 601 es un dispositivo de cuatro terminales que tiene el primer contacto 308a y el segundo contacto 308b adaptados para conectarse de forma circuital, respectivamente, al primer y segundo circuitos de polarización proporcionando primera y segunda tensiones de polarización V_{DD} , V_{SS} sustancialmente simétricas; el contacto de salida 309 adaptado para ser conectado de manera circuital a un circuito de lectura para entregar la foto señal V_{OUT} generada en el píxel; y el contacto de puerta trasera 600 para proporcionar una tensión de puerta V_{GATE} al elemento fotoactivo 106.

10 Las Figuras 7a-7b muestran otro ejemplo de un píxel que comprende contactos de puerta trasera. El píxel 701 tiene un diseño similar al del píxel 601, pero difiere en que comprende no solo un contacto de puerta trasera 700 dispuesto por debajo del elemento fotoactivo 106 (entre la capa aislante 307 y el sustrato 102) sino también un contacto de puerta trasera adicional 702 dispuesto por debajo del elemento de referencia 107. Dicho contacto de puerta trasera adicional 702 está dispuesto entre la capa aislante 307 y la segunda capa de bloqueo de luz 206.

15 Ahora, la capa aislante 307 es, al mismo tiempo, una capa aislante primaria asociada al elemento fotoactivo 106 pero también una capa aislante secundaria asociada al elemento de referencia 107. Aunque en este ejemplo particular, las capas aislantes primaria y secundaria están implementadas como una misma capa aislante, en otros ejemplos pueden ser capas diferentes dispuestas en niveles iguales o diferentes en la estructura de disposición del sensor de imagen.

20 El píxel resultante 701 puede funcionar como un dispositivo de cinco terminales en el que sus primer y segundo contactos 308a, 308b están adaptados para conectarse de forma circuital, respectivamente, al primer y segundo circuitos de polarización que proporcionan primera y segunda tensiones de polarización V_{DD} , V_{SS} y su contacto de salida 309 está adaptado para conectarse de forma circuital a un circuito de lectura para entregar la foto-signal V_{OUT} generada en el píxel 701. Además, el contacto de puerta trasera 700 está configurado para proporcionar una tensión de puerta V_{GATE1} al elemento fotoactivo 106 para sintonizar finamente, por ejemplo, su fotosensibilidad, mientras que el contacto de puerta trasera 702 está adaptado para proporcionar una tensión de puerta V_{GATE2} al elemento de referencia 107 para ajustar su conductancia.

25 Aunque en estos ejemplos los píxeles 601, 701 están provistos solo con contactos de puerta trasera, en otros ejemplos pueden comprender, adicionalmente o alternativamente, contactos de puerta superior.

30 Haciendo referencia ahora a la figura 8a, se muestra allí, en una vista en planta inferior, el diagrama de bloques de un sensor de imagen de la presente invención. El sensor de imagen 800 comprende una pluralidad de píxeles 801 dispuestos como una matriz bidimensional que comprende una pluralidad de filas, que comprenden cada una el mismo número de píxeles, alineados definiendo una pluralidad de columnas. La pluralidad de píxeles 801 está dispuesta en una primera área 802 de un sustrato (no representado en la figura).

35 El sensor de imagen 800 comprende una unidad de control conectada operativamente a la pluralidad de píxeles 801, que incluye un primer circuito de polarización 803a para proporcionar una primera tensión de polarización V_{DD} , un segundo circuito de polarización 804b para proporcionar una segunda tensión de polarización V_{SS} y un circuito de lectura 804. En particular, la segunda tensión de polarización V_{SS} es sustancialmente simétrica a la primera tensión de polarización V_{DD} .

40 El primer circuito de polarización 803a y el segundo circuito de polarización 803b comprenden, respectivamente, primeros conmutadores de selección de fila 805a y segundos conmutadores de selección de fila 805b para polarizar selectivamente las filas de la matriz.

45 Los primeros y segundos conmutadores de selección de fila 805a, 805b hacen posible habilitar secuencialmente solo una fila de la matriz a la vez mientras dejan las otras filas deshabilitadas, lo que permite conectar en cadena tipo margarita los píxeles 801 de cada columna de la matriz al circuito de lectura 804, como se puede observar en la figura 8a. Esto simplifica enormemente la interconexión de los píxeles 801 al circuito de lectura 804 y reduce el consumo de potencia del sensor de imagen 800 durante el funcionamiento.

50 Cada píxel 801 comprende un elemento fotoactivo 809 conectado circuitalmente entre un primer contacto 811a y un contacto de salida 812, y un elemento de referencia 810 conectado de forma circuital entre el contacto de salida 812 y un segundo contacto 811b. La estructura de los píxeles 801 es la misma que la de los píxeles 101, que ya se ha descrito en detalle anteriormente en el contexto del sensor de imagen 100 en la figura 1.

55 El sensor de imagen 800 comprende además primeras líneas de trazado conductivas 815a y segundas líneas de trazado conductivas 815b que conectan el primer circuito de polarización 803a y el segundo circuito de polarización 803b con, respectivamente, el primer contacto 811a y el segundo contacto 811b de los píxeles.

60 El circuito de lectura 804 incluye un multiplexor 806 (representado como una pluralidad de conmutadores) que

comprende tantos terminales de entrada 813 como píxeles 801 hay en cada fila y un terminal de salida 814. Cada terminal de entrada 813 está conectado de forma circuital al contacto de salida 812 de un píxel de cada fila (en particular los píxeles que forman una columna) por medio de terceras líneas de trazado conductivas 815c provistas en el sensor de imagen 800.

5 El circuito de lectura comprende además un amplificador 807 conectado operativamente en serie al terminal de salida 814 del multiplexor, y un elemento de almacenamiento 808 conectado operativamente en serie al amplificador 807 y configurado para almacenar una tensión proporcional a la foto-señal generada en un píxel 801 de la pluralidad de píxeles.

10 Tras la lectura, la unidad de control activa solo un primer conmutador de selección de fila 805a y solo un segundo conmutador de selección de fila 805b a la vez, polarizando con tensiones equilibradas solo una fila de píxeles 801 de la matriz, mientras que los píxeles en las otras filas permanecen deshabilitados.

15 De esta manera, solo los píxeles 801 en la fila seleccionada cargan los terminales de entrada 813 del multiplexor 806. Esto hace posible que un píxel 801 de la fila seleccionada se conecte al terminal de entrada correspondiente 813 del multiplexor 804 por medio de los contactos de salida 812 de los otros píxeles dispuestos en la misma columna que dicho píxel, y las terceras líneas de trazado conductivas 815c que conectan dichos contactos de salida 812. Entonces, la foto-señal generada en cada píxel 801 de la fila seleccionada puede alcanzar el circuito de lectura 804 sin ser perturbada por los píxeles en las otras filas.

20 La figura 8b muestra otro ejemplo de un sensor de imagen que es similar en topología al que se acaba de describir en el contexto de la figura 8a, pero con un diseño de circuito de lectura alternativo. El sensor de imagen 850 comprende una pluralidad de píxeles 851 dispuestos en una primera área 852 de un sustrato y conectados operativamente a una unidad de control que incluye un primer y un segundo circuitos de polarización 853a, 853b conectados circuitalmente, respectivamente, a los contactos primero y segundo 861a, 861b de cada píxel, y un circuito de lectura 854 conectado circuitalmente a un contacto de salida 862 de cada píxel. La estructura de los píxeles y la del primer y segundo circuitos de polarización del sensor de imagen 850 son similares a los comprendidos en el sensor de imagen 800 y ya descritos anteriormente.

25 El circuito de lectura 854 comprende tantos amplificadores 857 como píxeles hay 851 en cada fila, es decir, el circuito de lectura 854 comprende un amplificador 857 para cada columna. Cada amplificador 857 tiene un terminal de entrada 863, conectado circuitalmente al contacto de salida de un píxel 851 de cada fila, y un terminal de salida 864. Además, el circuito de lectura 854 también comprende un elemento de almacenamiento 858 que está conectado en serie al terminal de salida 864 de cada amplificador y configurado para almacenar un voltaje proporcional a la foto-señal generada en los píxeles.

30 Adicionalmente, la unidad de control del sensor de imagen 850 incluye un circuito de interconexión 866 (un multiplexor en el ejemplo de la figura 8b), conectado operativamente al circuito de lectura 854 y que comprende un nodo de salida 867. El circuito de interconexión 866 permite conectar circuitalmente, a través del circuito de lectura 854, el contacto de salida 862 de cualquiera de los píxeles de la matriz con el nodo de salida 867.

35 El sensor de imagen 100 con circuito de lectura no local descrito anteriormente en el contexto de las figuras 1, 2a y 2b puede fabricarse por medio de un método que comprende los pasos de:

- 45 a) proporcionar una capa de transporte 202 que incluye al menos una capa de un material bidimensional, y una capa de fotosensibilización 201 asociada a una capa de transporte 201, en una primera área 102a de un sustrato 102;
- 50 b) proporcionar un primer circuito de polarización 103a, un segundo circuito de polarización 103b y un circuito de lectura 104 en la unidad de control, el primer circuito de polarización 103a proporcionando una primera tensión de polarización V_{DD} , el segundo circuito de polarización 103b proporcionando una segunda tensión de polarización V_{SS} sustancialmente simétrica a la primera tensión de polarización, y el circuito de lectura 104 estando adaptado para leer la foto-señal generada por la luz que incide sobre los píxeles 101;
- 55 c) disponer los primeros medios de selección 105a y los segundos medios de selección 105b provistos, respectivamente, en el primer circuito de polarización 103a y en el segundo circuito de polarización 103b fuera de la primera área 102a del sustrato, estando los primeros medios de selección 105a y los segundos medios de selección 105b adaptados para polarizar selectivamente uno o más píxeles 101 de dicha pluralidad que deben leerse en un momento dado;

Para cada píxel 101 de la pluralidad de píxeles, el método comprende además:

- 60 a) definir un elemento fotoactivo 106 en una ubicación seleccionada de la capa de transporte 202 y de la capa de fotosensibilización 201 dispuesta en la primera área 102a del sustrato, y conectar circuitalmente el elemento fotoactivo 106 entre un primer contacto 108a y un contacto de salida 109 provisto en dicho píxel 101;
- 65 b) disponer un elemento de referencia no fotoactivo 107 próximo al elemento activo fotoactivo 106 de dicho píxel, teniendo el elemento de referencia 107 una conductancia oscura que coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo 106, y conectar circuitalmente el elemento de referencia 107 entre dicho contacto de salida 109 y un segundo contacto 108b provisto en dicho píxel 101;

c) conectar circuitalmente el primer contacto 108a, el segundo contacto 108b y el contacto de salida 109 de dicho píxel 101 a, respectivamente, el primer circuito de polarización 103a, el segundo circuito de polarización 103b y el circuito de lectura 104 de la unidad de control.

5 Las figuras 10a-10g presentan los diferentes pasos implicados en el proceso de fabricación del píxel 101 mostrado en las figuras 2a-2b.

10 En primer lugar, como se puede ver en la figura 10a, la segunda capa de bloqueo de luz 206 se deposita selectivamente, por ejemplo, por medio de una foto-máscara como se usa en el proceso fotolitográfico convencional, sobre el sustrato 102 solo en el área que será ocupada por el elemento de referencia 107 del píxel 101. A continuación (figura 10b), una capa de pasivación que comprende un óxido se hace crecer uniformemente sobre el sustrato para obtener la capa aislante 207, que cubre la segunda capa de bloqueo de luz 206 y prepara el sustrato para la deposición de los contactos del píxel 101.

15 En esta etapa, el primer contacto 108 y el segundo contacto 108b se definen en los extremos opuestos del píxel 101, junto con la primera línea de trazado conductiva 110a y la segunda línea de trazado conductiva 110b (no mostrada en la figura 10c) para proporcionar la primera y segunda tensiones de polarización V_{DD} , V_{SS} . Antes de definir el contacto de salida 109 (ilustrado en la figura 10d) conectado a través de su tercera línea de trazado correspondiente 110c al circuito de lectura 104, es necesario hacer crecer una capa aislante intermedia (como la descrita con referencia a la figura 9) para evitar el contacto donde las líneas de trazado conductivas 110a, 110b, 110c cruzan.

20 Posteriormente, una o más capas de un material bidimensional se depositan progresivamente sobre el sustrato. Entonces, la capa de transporte 202 del elemento fotoactivo 106 y la capa de transporte 204 del elemento de referencia 107 se graban, una junto a la otra, entre los contactos 108a, 108b, 109 previamente definidos (véase la figura 10e).

25 A continuación, la figura 10f muestra la deposición de un material de fotosensibilización sobre la una o más capas de material bidimensional, en el que la capa de fotosensibilización 201 del elemento fotoactivo 106 y la capa de fotosensibilización 203 del elemento de referencia 107 están dispuestas siguiendo un patrón por encima de su capa de transporte correspondiente 202, 204.

30 Finalmente, la primera capa de bloqueo de luz 205 se dispone selectivamente sobre la capa de fotosensibilización 203 del elemento de referencia, como se representa en la figura 10g. Opcionalmente, en esta etapa final, una capa de encapsulación protectora hecha de un material dieléctrico de banda ancha puede disponerse por encima del píxel 101.

35 El proceso de fabricación del píxel que se muestra en las figuras 3a-3b sería esencialmente similar al que se acaba de discutir, con la única diferencia de que la deposición de una o más capas del material bidimensional y el posterior grabado de las capas de transporte 202, 204, se llevarían a cabo antes de la definición de los contactos 108a, 108b, 109.

40 Con referencia ahora a la figura 11, allí se muestra un ejemplo de un sensor de imagen capaz de respuesta multispectral. El sensor de imagen 1100 comprende una pluralidad de píxeles dispuestos como una matriz bidimensional y agrupados en grupos s1-s9. Cada grupo comprende al menos un píxel que tiene un elemento fotoactivo con una capa de fotosensibilización sensible a un rango diferente del espectro. En este ejemplo particular, la capa de fotosensibilización de los elementos fotoactivos comprende puntos cuánticos, cuyo tamaño se varía progresivamente para sintonizar sus propiedades de absorción de luz a diferentes longitudes de onda.

La figura 12 representa el diagrama de bloques de un dispositivo optoelectrónico, en particular un dispositivo portable/llevable inalámbrico, que incorpora un sensor de imagen de acuerdo con la presente invención.

50 El dispositivo optoelectrónico 1200 comprende el sensor de imagen 100 descrito en la figura 1 dispuesto sobre un sustrato flexible 1201, junto con un convertidor analógico a digital 1202, un módulo de control 1203 y un módulo de fuente de alimentación 1204 conectado operativamente a la unidad de control del sensor de imagen 100.

55 El módulo de control 1203 está configurado para proporcionar señales de control 1205 a la unidad de control del sensor de imagen 100 para polarizar y leer selectivamente los píxeles 101, y para recibir una pluralidad de valores detectados 1206 correspondientes a las foto-señales leídas de la pluralidad de píxeles 101 por el circuito de lectura 104. El convertidor analógico a digital 1202 está conectado circuitalmente entre el sensor de imagen 100 y el módulo de control 1203 y está adaptado para digitalizar los valores detectados 1206 antes de que sean entregados a la circuitería digital embebida en el módulo de control 1203.

60 El módulo de fuente de alimentación 1204 está configurado para proporcionar las primera y segunda tensiones de polarización V_{DD} , V_{SS} al primer y segundo circuitos de polarización 103a, 103b y para energizar los dispositivos activos del circuito de lectura 104.

65 El dispositivo optoelectrónico 1200 comprende además una antena 1207 interconectada operativamente con un

5 circuito de RF incluido en el módulo de control 1203, y que permite que el dispositivo optoelectrónico 1200 se comunique mediante un estándar de conectividad inalámbrica (como WiFi, Bluetooth o ZigBee) con un terminal de usuario 1208 provisto de una antena 1209, tal como un teléfono móvil. El enlace inalámbrico entre el dispositivo optoelectrónico 1200 y el terminal de usuario 1208 se usa ventajosamente para programar el dispositivo optoelectrónico 1200 remotamente desde el terminal de usuario 1208, y para transferir datos (como por ejemplo datos en bruto y/o procesados relacionados con los valores detectados 1206 correspondientes a las fotos-señales leídas desde los píxeles 101).

10 Aunque la invención se ha descrito con respecto a algunos ejemplos específicos, que incluyen modos actualmente preferidos de llevar a cabo la invención, los expertos en la materia apreciarán que existen numerosas variaciones y permutaciones del sensor de imagen y del dispositivo optoelectrónico que usa dicho sensor de imagen descritos anteriormente, incluida la sustitución de elementos específicos por otros técnicamente equivalentes, sin apartarse del alcance de la invención tal como se establece en las reivindicaciones adjuntas.

15

REIVINDICACIONES

1. Sensor de imagen (100, 800, 850, 1100), que comprende un sustrato (102, 400, 500), una pluralidad de píxeles (101, 401, 501, 601, 701, 801, 851) dispuestos en una primera área (102a, 802, 852) del sustrato, y una unidad de control conectada operativamente a la pluralidad de píxeles y adaptada para polarizar selectivamente dichos píxeles y leerlos, estando el sensor de imagen **caracterizado porque** la unidad de control comprende:

- un primer circuito de polarización (103a, 803a, 853a) para proporcionar una primera tensión de polarización (V_{DD});

- un segundo circuito de polarización (103b, 803b, 853b) para proporcionar una segunda tensión de polarización (V_{SS}), siendo la segunda tensión de polarización (V_{SS}) sustancialmente simétrica a la primera tensión de polarización (V_{DD}) con respecto a una referencia de tensión de manera que tengan signos opuestos con respecto a dicha referencia de tensión y que la magnitud de una de ellas difiera de la de la otra en menos de un 25%, 20%, 15%, 10%, 8%, 5%, 3% o incluso de un 1%; y

- un circuito de lectura (104, 804, 854) para leer la foto-señal generada por la luz que incide sobre los píxeles, siendo el circuito de lectura (104, 804, 854) un circuito de lectura no local dispuesto fuera de la primera área (102a, 802, 852) del sustrato (102, 400, 500);

donde el primer circuito de polarización (103a, 803a, 853a) y el segundo circuito de polarización (103b, 803b, 853b) comprenden, respectivamente, primeros medios de selección (105a, 805a) y segundos medios de selección (105b, 805b) para polarizar selectivamente uno o más píxeles de dicha pluralidad que deben leerse en un momento dado, estando dispuestos los primeros medios de selección y los segundos medios de selección fuera de la primera área (102a, 802, 852) del sustrato (102, 400, 500);

y **porque** cada píxel (101, 401, 501, 601, 701, 801, 851) de la pluralidad de píxeles comprende:

- un elemento fotoactivo (106, 402, 502, 809) que comprende una capa de fotosensibilización (201, 405, 504) asociada a una capa de transporte (202, 406, 505), incluyendo la capa de transporte al menos una capa de un material bidimensional;

- un elemento de referencia no fotoactivo (107, 403, 503, 810) dispuesto próximo al elemento activo fotoactivo (106, 402, 502, 809), teniendo el elemento de referencia no fotoactivo (107, 403, 503, 810) una conductancia oscura que coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotoactivo (106, 402, 502, 809);

- un primer contacto (108a, 308a, 410a, 508a, 811a, 861a) conectado circuitalmente al primer circuito de polarización (103a, 803a, 853a);

- un segundo contacto (108b, 308b, 410b, 508b, 811b, 861b) conectado circuitalmente al segundo circuito de polarización (103b, 803b, 853b); y

- un contacto de salida (109, 309, 409, 509, 812, 862) conectado circuitalmente al circuito de lectura (104, 804, 854);

donde el elemento fotoactivo (106, 402, 502, 809) está conectado circuitalmente entre el primer contacto (108a, 308a, 410a, 508a, 811a, 861a) y el contacto de salida (109, 309, 409, 509, 812, 862), y el elemento de referencia no fotoactivo (107, 403, 503, 810) está conectado circuitalmente entre el contacto de salida (109, 309, 409, 509, 812, 862) y el segundo contacto (108b, 308b, 410b, 508b, 811b, 861b).

2. El sensor de imagen según la reivindicación 1, en el que no está integrada ninguna electrónica de lectura en los píxeles de dicha pluralidad de píxeles (101, 401, 501, 601, 701, 801, 851).

3. El sensor de imagen según la reivindicación 1, en el que el elemento de referencia no fotoactivo (107, 403, 503) de al menos un píxel de la pluralidad de píxeles comprende una capa de transporte (204, 408, 507), incluyendo dicha capa de transporte al menos una capa de un material bidimensional, y una capa de fotosensibilización (203, 407, 506) asociada a la capa de transporte (204, 408, 507) del elemento de referencia no fotoactivo (107, 403, 503).

4. Sensor de imagen según la reivindicación 3, en el que el elemento de referencia no fotoactivo (107, 403, 503) de dicho al menos un píxel comprende además: una primera capa de bloqueo de luz (205, 411, 511) dispuesta por encima de la capa de fotosensibilización (203, 407, 506) y de la capa de transporte (204, 408, 507) de dicho elemento de referencia no fotoactivo (107, 403, 503); y una segunda capa de bloqueo de luz (206, 412, 510) dispuesta por debajo de la capa de fotosensibilización (203, 407, 506) y de la capa de transporte (204, 408, 507) de dicho elemento de referencia.

5. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 3 y 4, donde, para dicho al menos un píxel (401), la capa de transporte (408) del elemento de referencia no fotoactivo tiene un área menor que la capa de transporte (406) del elemento fotoactivo.
- 5 6. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el elemento de referencia no fotoactivo (503) de al menos un píxel (501) de la pluralidad de píxeles está dispuesto entre el sustrato (500) y el elemento fotoactivo (502) de dicho píxel.
- 10 7. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además una o más capas aislantes primarias (307) asociadas al elemento fotoactivo (106) de la pluralidad de píxeles; y en el que al menos un píxel (601, 701) de la pluralidad de píxeles comprende:
- 15 - un contacto de puerta trasera (600, 700) dispuesto entre el sustrato (102) y el elemento fotoactivo (106) de dicho al menos un píxel (601, 701), entre una capa aislante primaria (307) y el sustrato (102), en el que dicha capa aislante primaria (307) está dispuesta entre dicho elemento fotoactivo (106) y el sustrato (102); y/o
- un contacto de puerta superior dispuesto por encima del elemento fotoactivo (106) de dicho al menos un píxel.
- 20 8. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 3 y 4, o 5 a 7 cuando depende de cualquiera de las reivindicaciones 3 y 4, que comprende además una o más capas aislantes secundarias (307) asociadas al elemento de referencia no fotoactivo (107) de la pluralidad de píxeles; y en el que al menos un píxel (701) de la pluralidad de píxeles comprende:
- 25 - un contacto de puerta trasera (702) dispuesto entre el sustrato y el elemento de referencia no fotoactivo (107) de dicho al menos un píxel (701), entre una capa aislante secundaria (307) y el sustrato (102), en donde dicha capa aislante secundaria (307) está dispuesta entre dicho elemento de referencia no fotoactivo (107) y el sustrato (102); y/o
- 30 - un contacto de puerta superior dispuesto por encima del elemento de referencia no fotoactivo (107) de dicho al menos un píxel (102).
9. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la pluralidad de píxeles está agrupada en grupos (s1-s9), comprendiendo cada grupo uno o más píxeles; y donde la capa de fotosensibilización (201, 405, 504) del elemento fotoactivo (106, 402, 502, 809) del uno o más píxeles de cada grupo (s1-s9) es sensible a un rango diferente del espectro de luz.
- 35 10. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la pluralidad de píxeles (101, 801, 851) está dispuesta como una matriz bidimensional que comprende una pluralidad de filas, comprendiendo cada fila el mismo número de píxeles; y en el que los primeros medios de selección y los segundos medios de selección comprenden, respectivamente, primeros conmutadores de selección de fila (105a, 805a) y segundos conmutadores de selección de fila (105b, 805b) para polarizar selectivamente las filas de la matriz.
- 40 11. El sensor de imagen según la reivindicación 10, donde la unidad de control está conectada operativamente a los primeros conmutadores de selección de fila (105a, 805a) y a los segundos conmutadores de selección de fila (105b, 805b), y está configurada para leer secuencialmente las filas de píxeles activando a la vez el primer conmutador de selección de fila y el segundo conmutador de selección de fila de una fila.
- 45 12. El sensor de imagen según la reivindicación 10 u 11, en el que el circuito de lectura (804) comprende:
- 50 - un multiplexor (806) que comprende tantos terminales de entrada (813) como píxeles (801) existentes en cada fila y un terminal de salida (814), estando conectado circuitalmente cada terminal de entrada (813) del multiplexor al contacto de salida (812) de un píxel de cada fila; y
- 55 - un amplificador (807) conectado operativamente en serie al terminal de salida (814) del multiplexor; y
- donde el circuito de lectura (804) comprende opcionalmente un elemento de almacenamiento (808) configurado para almacenar un voltaje proporcional a la foto señal generada en un píxel (801) de la pluralidad de píxeles, estando el elemento de almacenamiento (808) conectado operativamente en serie al amplificador (807).
- 60 13. El sensor de imagen según la reivindicación 10 u 11, en el que el circuito de lectura (854) comprende:
- 65 - tantos amplificadores (857) como píxeles (851) existentes en cada fila, teniendo cada amplificador (857) un terminal de entrada (863), conectado circuitalmente al contacto de salida (862) de un píxel de cada fila, y un terminal de salida (864); y

- un elemento de almacenamiento (858) conectado en serie al terminal de salida (864) de cada amplificador, estando configurado cada elemento de almacenamiento (858) para almacenar un voltaje proporcional a la foto señal generada en un píxel (851) de la pluralidad de píxeles.

5
14. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sustrato (102, 400, 500) está hecho de un material flexible, y en el que el sensor de imagen comprende además líneas de trazado conductivas (110a, 110b, 110c, 815a, 815b, 815c) que conectan el primer circuito de polarización (103a, 803a, 853a), el segundo
10 circuito de polarización (103b, 803b, 853b) y el circuito de lectura (104, 804, 854) con, respectivamente, el primer contacto, el segundo contacto y contactos de salida (108a, 108b, 109; 811a, 811b, 812; 861a, 861b, 862) de los píxeles de la pluralidad de píxeles; en donde dichas líneas de trazado conductivas están hechas de un material conductivo flexible.

15
15. Un dispositivo optoelectrónico (1200) que comprende un sensor de imagen (100, 800, 850, 1100) según cualquiera de las reivindicaciones 1-14, en el que el dispositivo optoelectrónico es un dispositivo llevable/ponible, y/o en el que el dispositivo optoelectrónico comprende un panel transparente en el que está dispuesto el sensor de imagen.

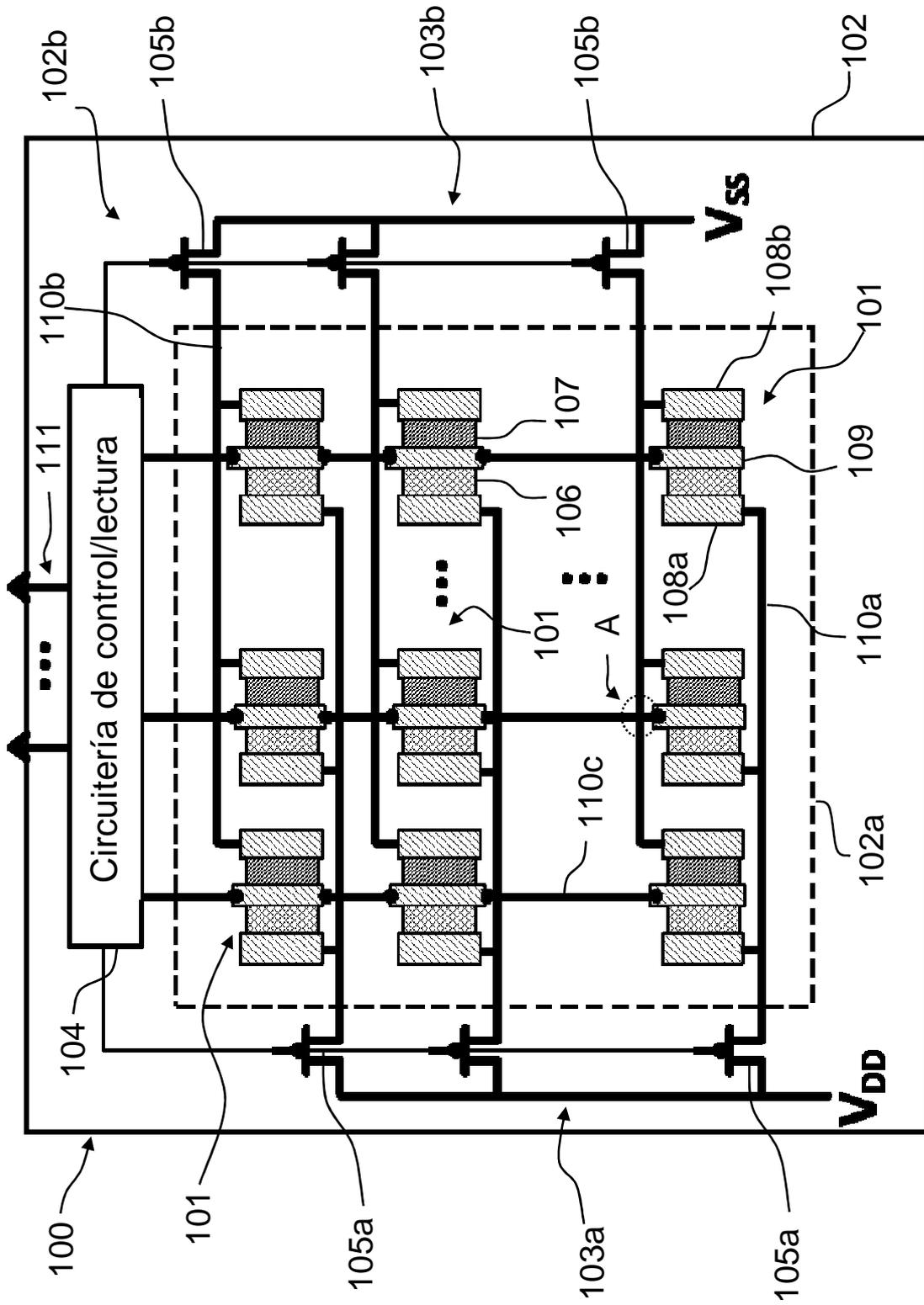


Fig. 1

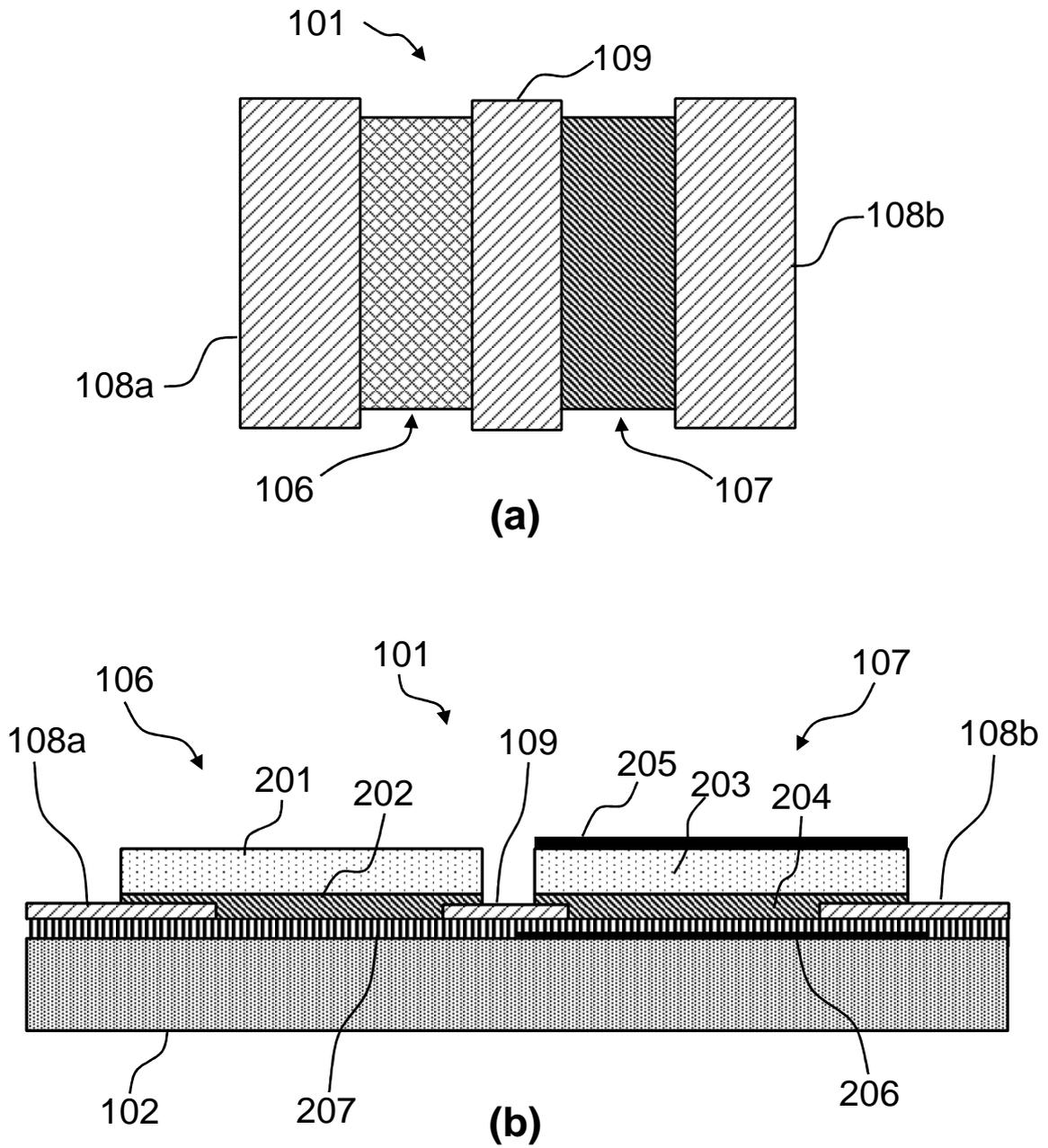


Fig. 2

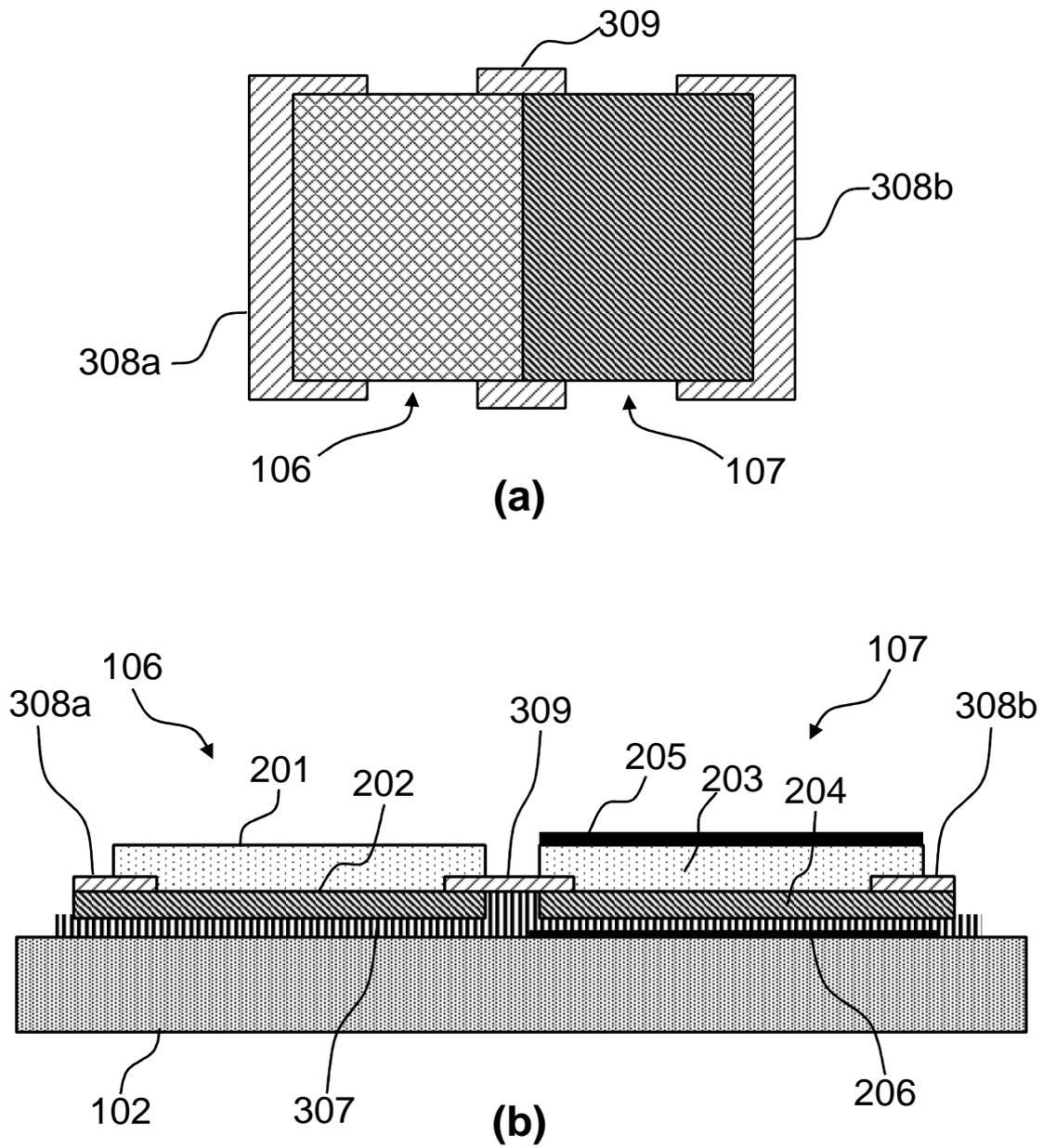


Fig. 3

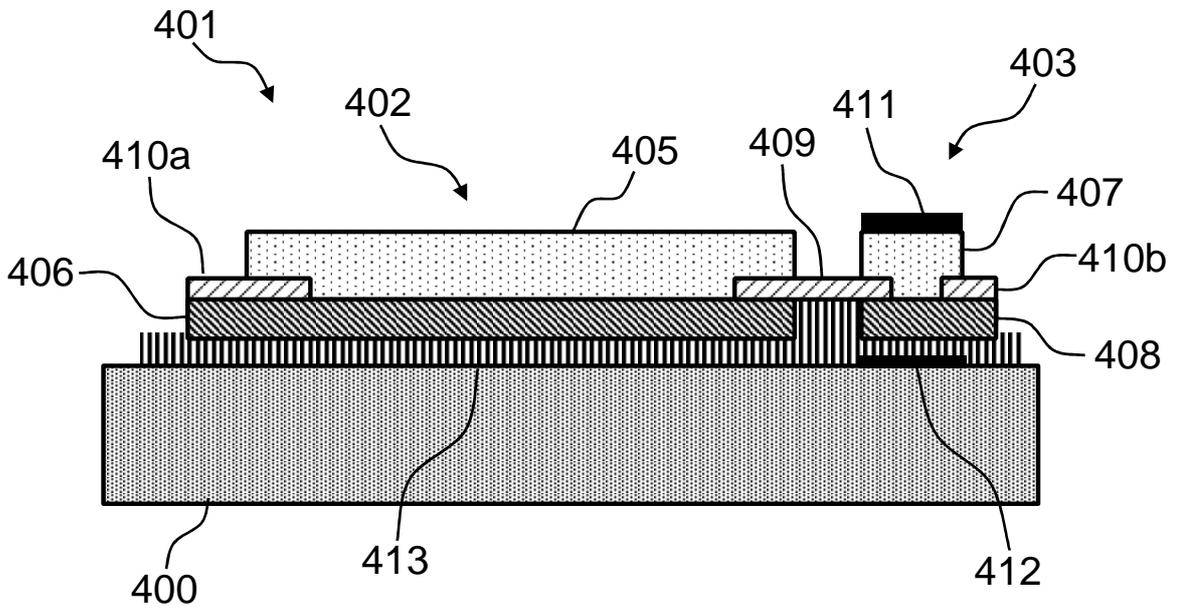


Fig. 4

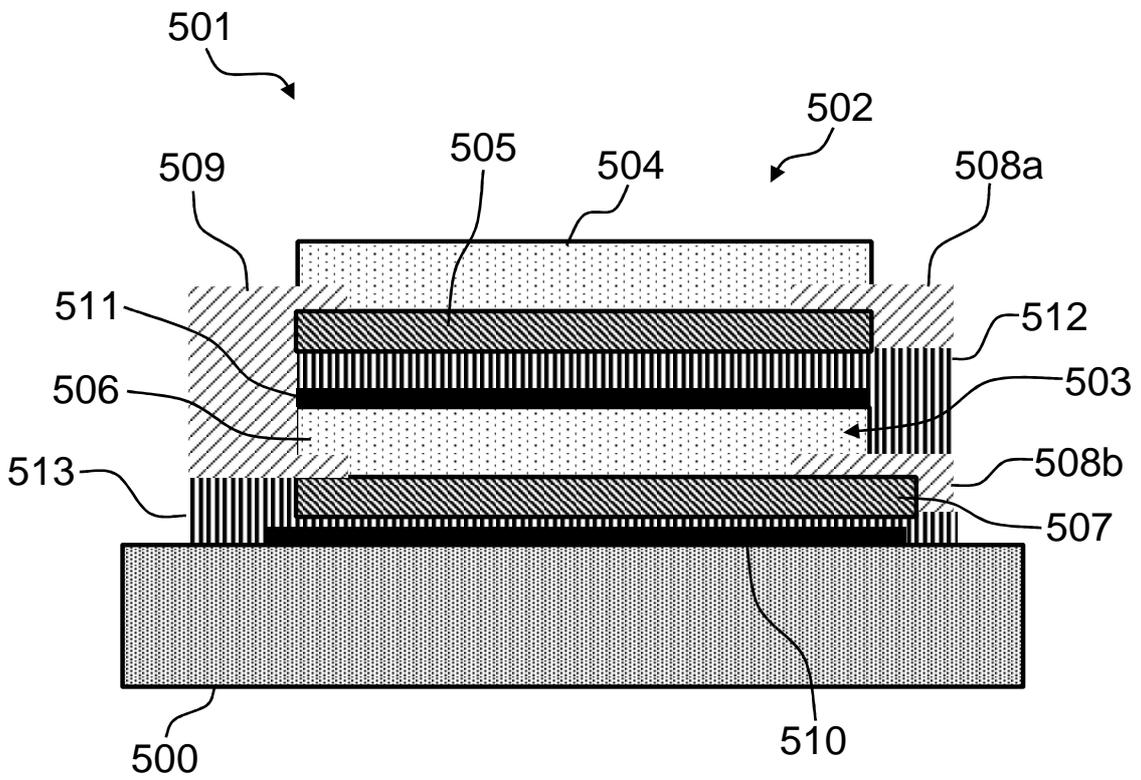
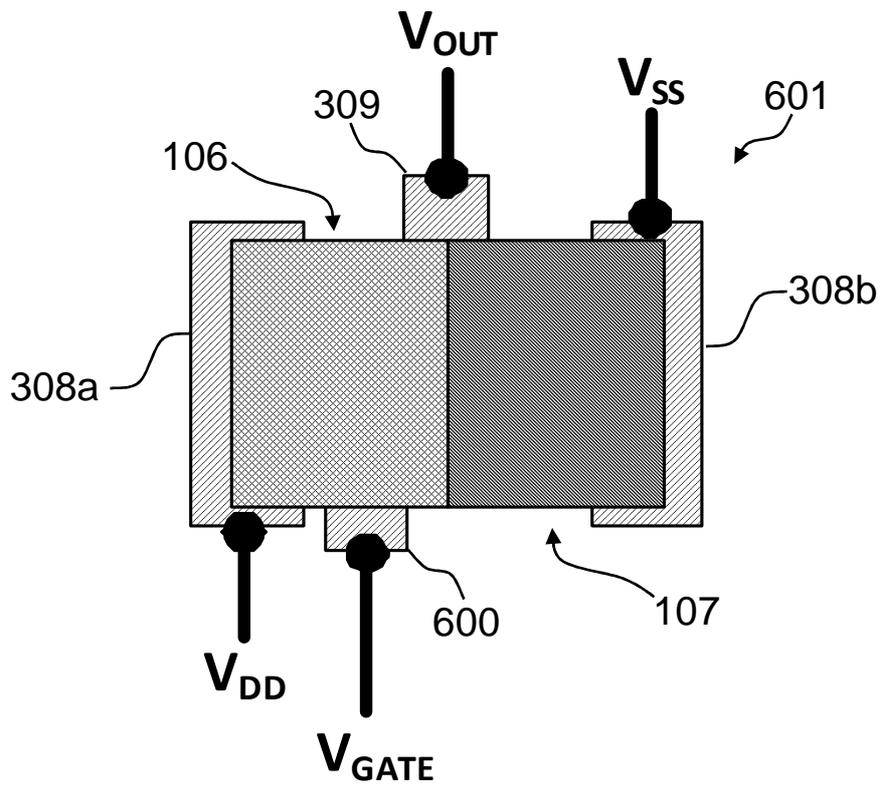
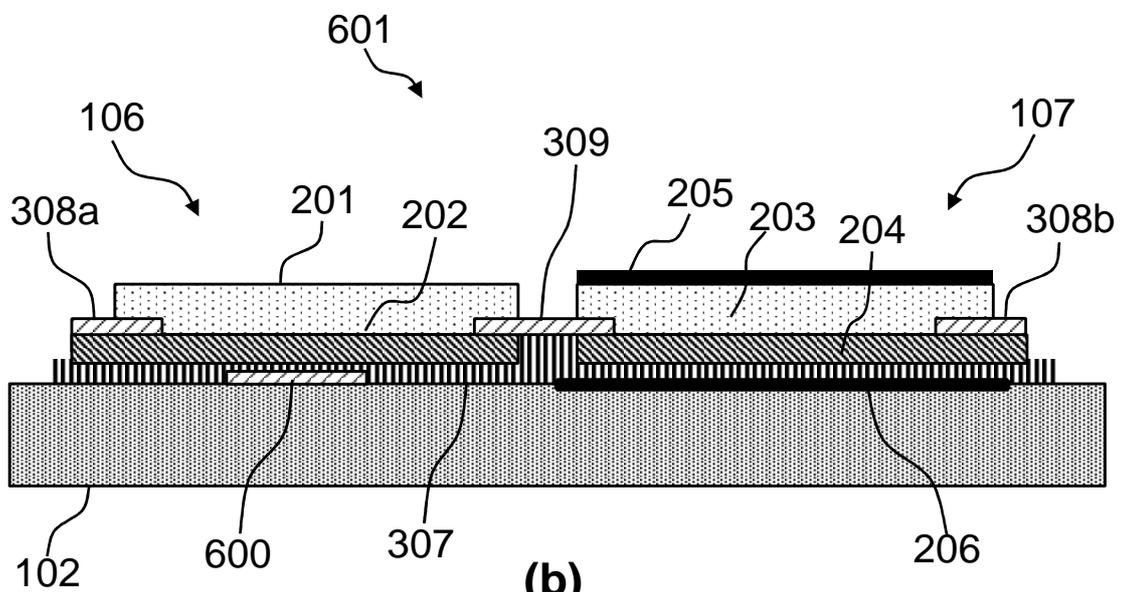


Fig. 5



(a)



(b)

Fig.6

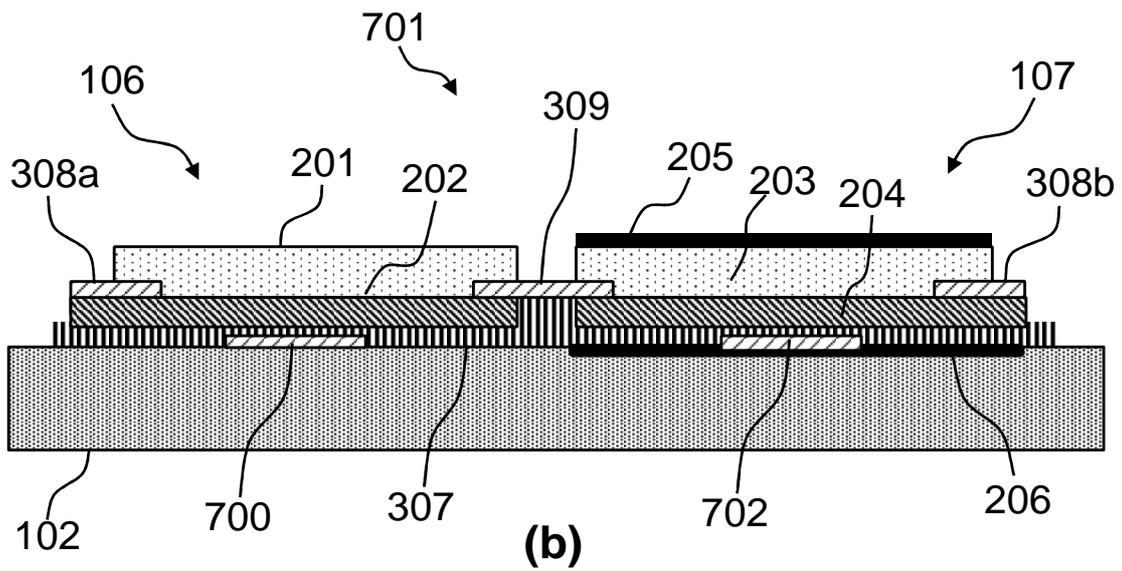
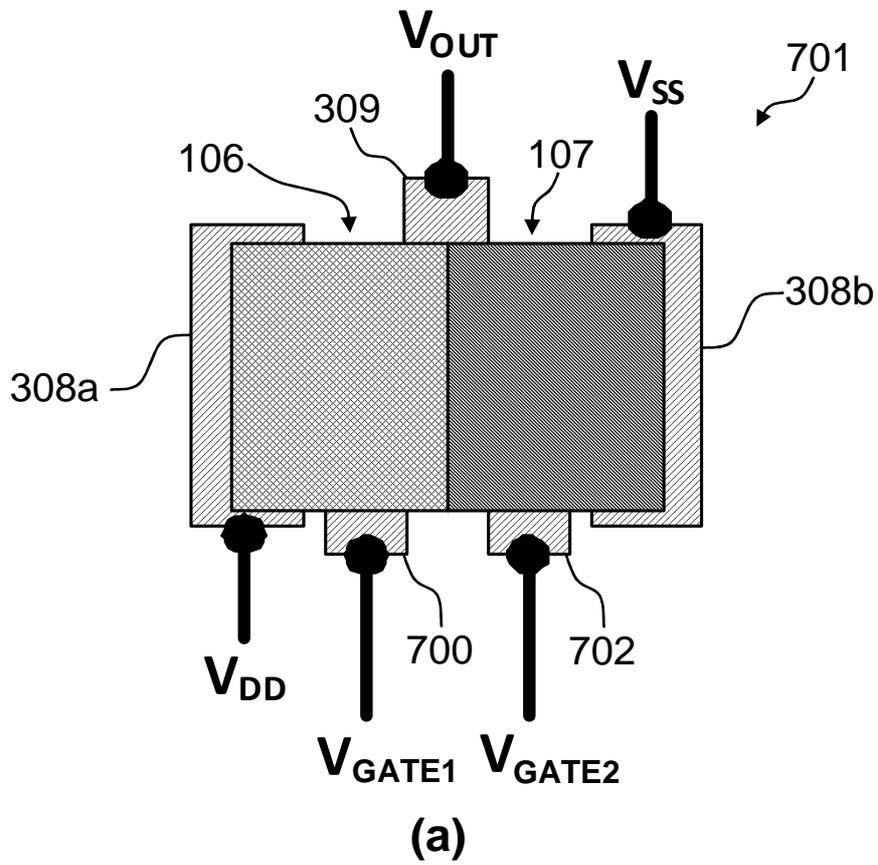


Fig.7

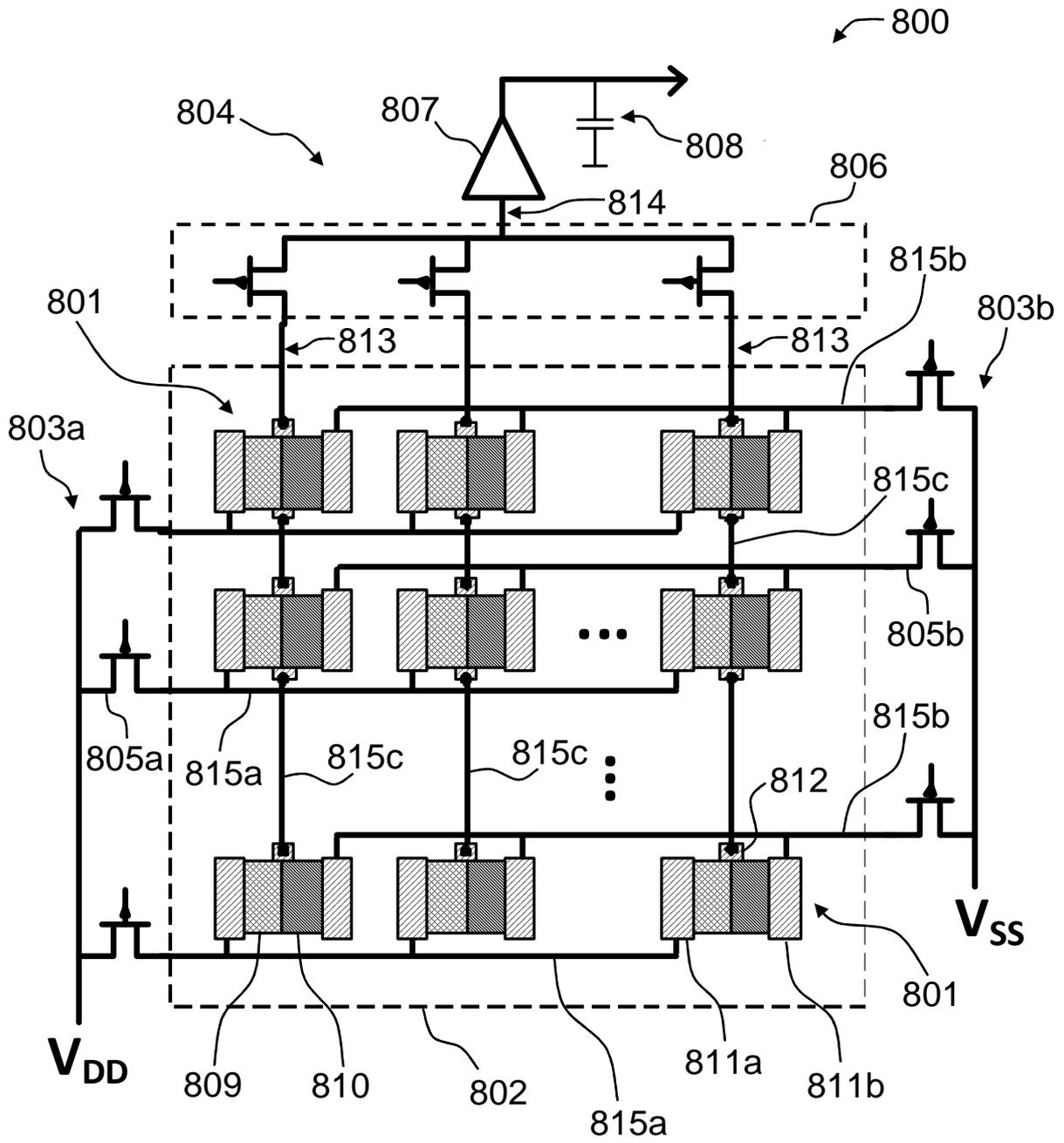


Fig. 8a

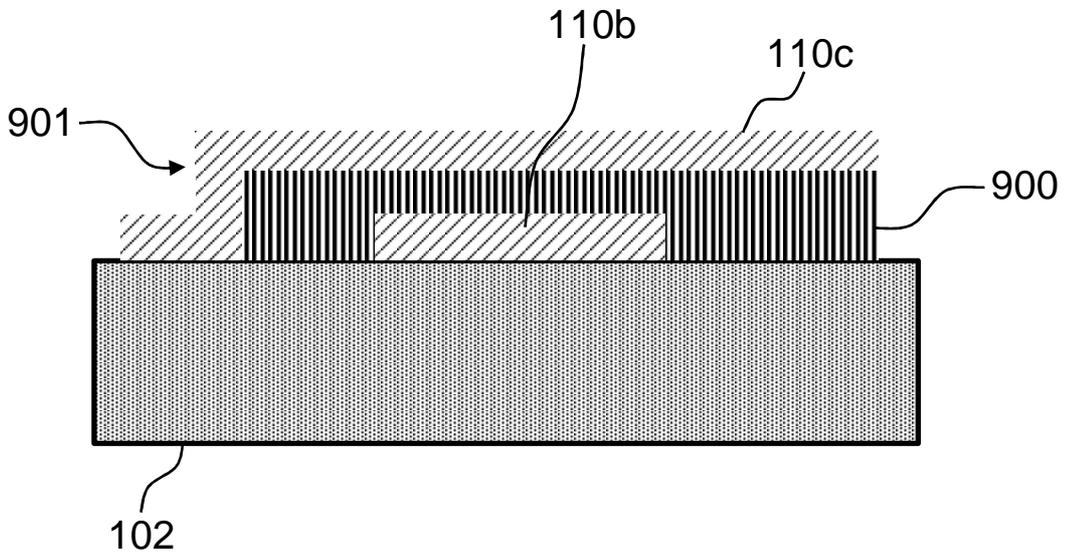


Fig. 9

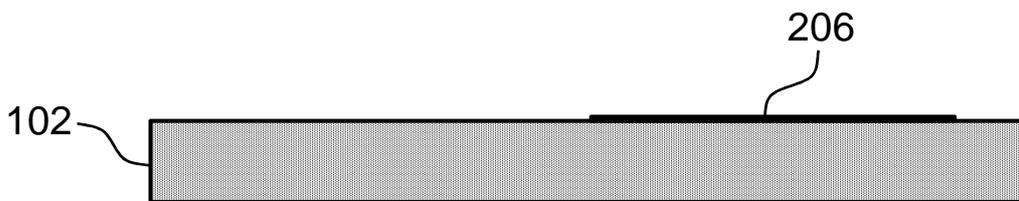


Fig. 10a

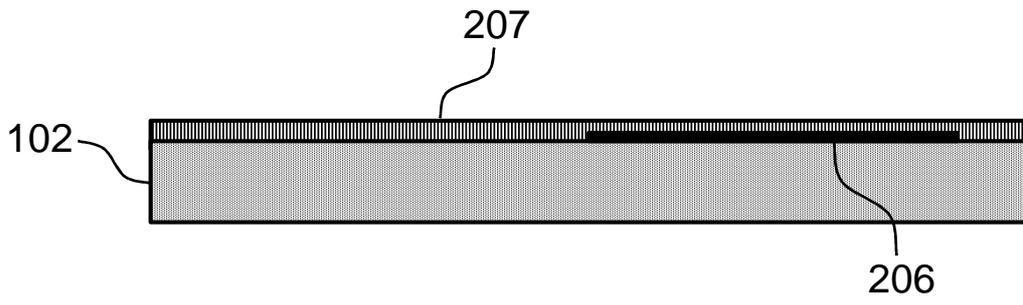


Fig. 10b

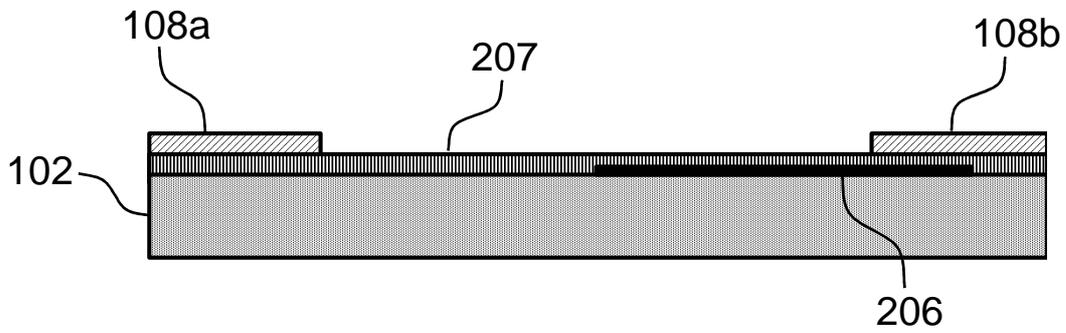


Fig. 10c

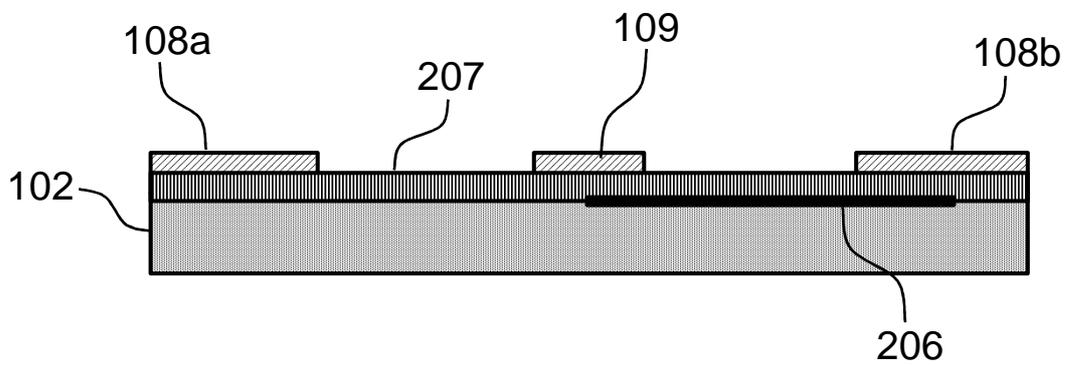


Fig. 10d

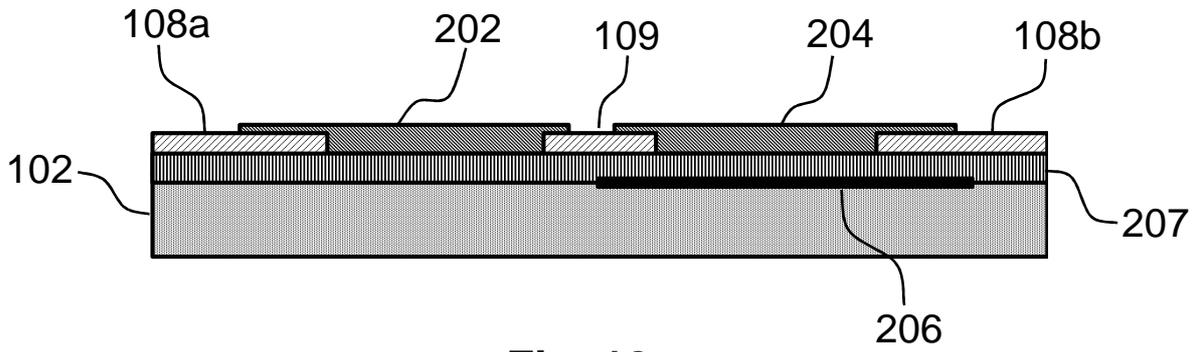


Fig. 10e

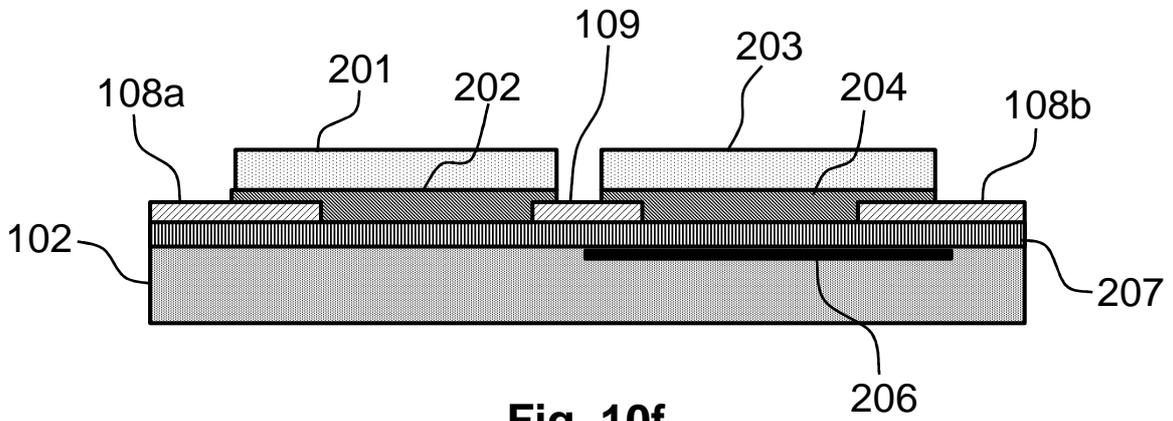


Fig. 10f

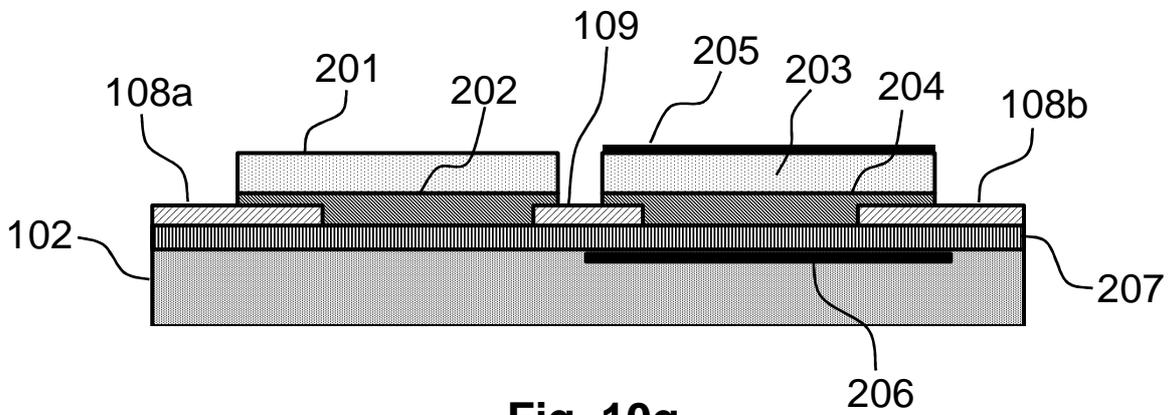


Fig. 10g

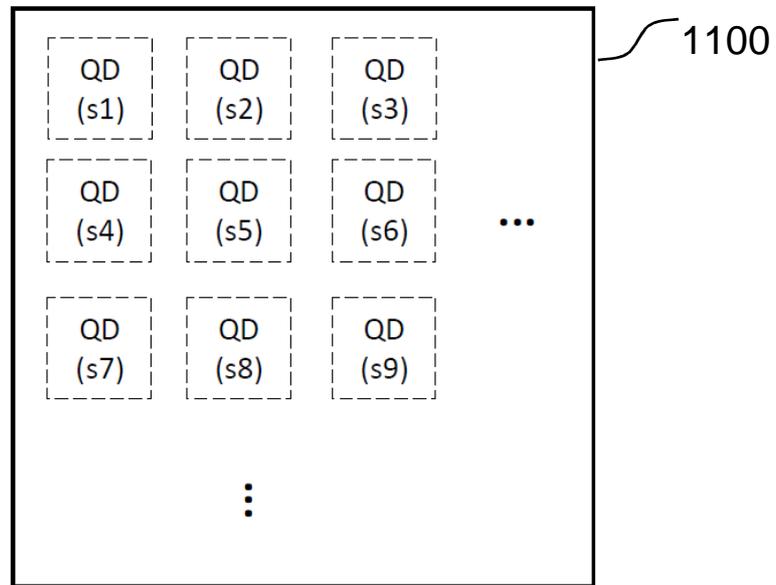


Fig. 11

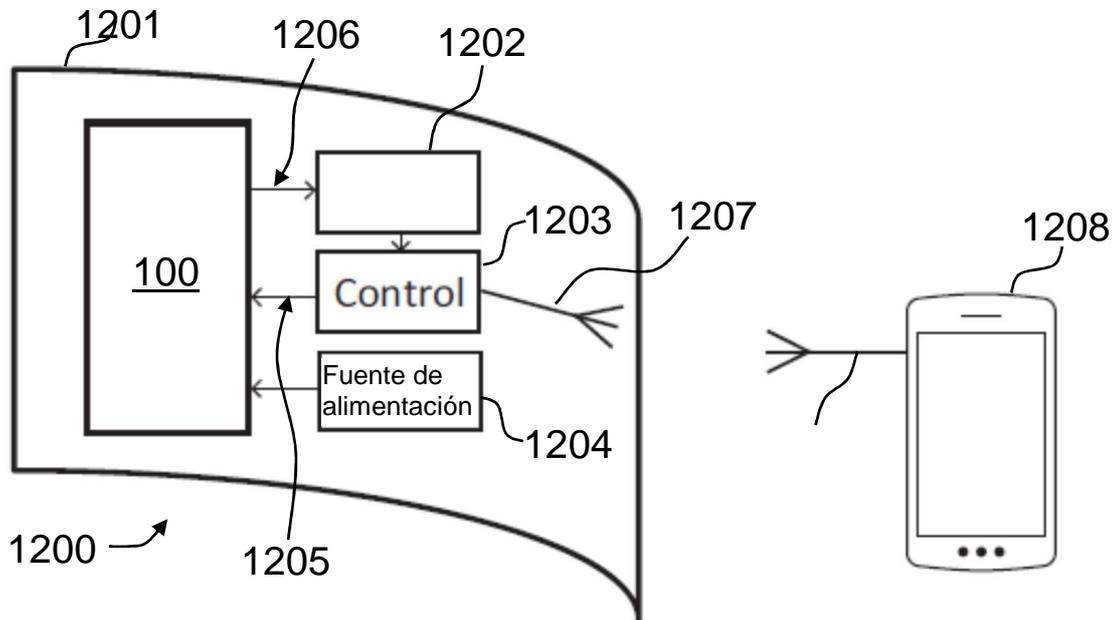


Fig. 12