

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 808 826**

51 Int. Cl.:

H01L 27/146 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.06.2015** **E 15171314 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020** **EP 3104414**

54 Título: **Sensor de imagen, sistema optoelectrónico que comprende dicho sensor de imagen y método de fabricación de dicho sensor de imagen**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.03.2021

73 Titular/es:

**FUNDACIÓ INSTITUT DE CIÈNCIES FOTÒNIQUES
(100.0%)
Parc Mediterrani de la Tecnologia, Av. Carl
Friedrich Gauss 3
08860 Castelldefels (Barcelona), ES**

72 Inventor/es:

**KONSTANTATOS, GERASIMOS;
KOPPENS, FRANK;
GOOSSENS, STIJN;
PIQUERAS, JUAN JOSÉ y
PÉREZ, RAÚL**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 808 826 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, sistema optoelectrónico que comprende dicho sensor de imagen y método de fabricación de dicho sensor de imagen

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al campo de los sensores de imagen, en particular sensores de imagen que comprenden una pluralidad de píxeles conectados operativamente a una unidad de control que incluye un circuito de lectura para leer selectivamente la pluralidad de píxeles. Un sensor de imagen según la presente invención logra una integración simple y eficiente de la pluralidad de píxeles con la unidad de control en una huella pequeña, lo que conduce a una arquitectura de circuito integrado compacto y consigue una sensibilidad de píxeles mejorada. Además, el diseño de píxeles particular del sensor de imagen de la invención hace posible obtener píxeles con alta ganancia fotoconductiva, responsividad mejorada y/o corto tiempo de respuesta. La presente invención también se refiere a un sistema optoelectrónico que comprende dicho sensor de imagen, y a un método de fabricación de dicho sensor de imagen.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

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

Un sensor de imagen típico comprende una pluralidad de píxeles, cada uno de los cuales comprende un elemento fotosensible o fotodetector, que están conectados operativamente a una unidad de control que incluye un circuito de lectura para leer selectivamente la fotoseñal generada por la luz que incide en el elemento fotosensible de cada píxel de la pluralidad de píxeles.

La mayoría de los sensores de imagen utilizan un fotodiodo como elemento fotosensible en sus píxeles. Dado que la eficiencia cuántica de los fotodiodos típicos no puede exceder de uno para los rangos en el visible y en el infrarrojo, tales sensores de imagen dependen fundamentalmente de alcanzar niveles de ruido muy bajos y/o de utilizar tiempos de exposición largos, para lograr altas relaciones señal a ruido.

Sin embargo, ambas técnicas tienen deficiencias importantes. Por ejemplo, diseñar el conjunto de circuitos del sensor de imagen para lograr un ruido bajo requiere colocar una etapa de pre-amplificación lo más cerca posible del elemento generador de carga (es decir, el fotodiodo), como se hace, por ejemplo, en un sensor de píxeles activo en el que el amplificador está integrado dentro del píxel. Además, el diseño del circuito de lectura general se vuelve más sofisticado. Por otro lado, aumentar el tiempo de exposición reduce la frecuencia de imagen efectiva del sensor de imagen y puede conducir a efectos difusos. Además, un mayor tiempo de exposición aumenta el efecto adverso del ruido térmico, lo que, a su vez, hace que los requisitos de diseño para el circuito de lectura sean aún más exigentes.

40

Otras tecnologías conocidas, como, por ejemplo, los fotodiodos de avalancha o los intensificadores de imagen, a pesar de ser capaces de proporcionar a los fotodetectores alguna ganancia fotoconductiva a través de los efectos de multiplicación de portadores, han demostrado ser difíciles de integrar en los sensores de imagen de alta resolución. Además, estas tecnologías requieren condiciones de funcionamiento que no son adecuadas para sensores de imagen prácticos (por ejemplo, los fotodiodos de avalancha normalmente requieren voltajes de polarización inversa muy altos para un funcionamiento adecuado), como se describe, por ejemplo, en el capítulo 2 de "Smart CMOS Image Sensors and Applications", Jun Ohta, CRC Press, 19 de septiembre de 2007.

45

El uso de dispositivos activos basados en materiales bidimensionales (2D), como, por ejemplo, el grafeno, para diferentes aplicaciones es objeto de investigación en curso. Por ejemplo, se han demostrado como prueba de concepto fotodetectores de un solo píxel que tienen un elemento fotosensible hecho de grafeno. También se ha propuesto el uso de fotodetectores basados en materiales 2D (por ejemplo, grafeno, tal como se describe, por ejemplo, en el documento US 8053782 B2) o en nanocristales semiconductores (por ejemplo, puntos cuánticos, véase, por ejemplo, la patente US 8803128 B2) en los píxeles de sensores de imagen de tamaño completo. Sin embargo, dichos sensores de imagen exhiben normalmente una ganancia fotoconductiva limitada.

50

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

60

Por lo tanto, sería altamente deseable tener sensores de imagen en los que el elemento fotosensible de sus píxeles

65

fuera capaz de proporcionar una ganancia fotoconduktiva alta, pero sin comprometer la sensibilidad de los píxeles debido, por ejemplo, a altos niveles de corriente oscura.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el rango espectral en el que debe operar un sensor de imagen, ya que 5 determinará en gran medida la elección de los materiales absorbentes de luz disponibles para la fabricación del elemento fotosensible de los píxeles.

En ese sentido, el silicio se utiliza ampliamente en sensores de imagen que operan en los rangos en el visible y en el infrarrojo cercano. En cambio, compuestos tales como InGaAs o HgCdTe, entre otros, a menudo se emplean para el 10 rango en el infrarrojo (incluyendo sub-rangos en el infrarrojo de onda corta y/o en el infrarrojo de onda larga). Por último, para los sensores de imagen que operan en la región ultravioleta y los rangos de onda más corta, algunos materiales adecuados conocidos incluyen semiconductores de banda prohibida ancha, tales como, por ejemplo, AlGaIn. Alternativamente, también se pueden utilizar tecnologías basadas en el adelgazamiento inverso del silicio o 15 siglas en inglés), para rangos de onda más corta.

Por otro lado, en la mayoría de los sensores de imagen, el circuito de lectura (generalmente también denominado 20 circuito integrado de lectura, o ROIC, por sus siglas en inglés) se implementa en silicio, por ejemplo, utilizando tecnología CMOS.

Esto significa que solo se puede lograr una integración monolítica de la pluralidad de píxeles de un sensor de imagen con el circuito de lectura de dichos píxeles para aquellos sensores de imagen diseñados para operar en los rangos en el visible y/o en el infrarrojo cercano. Sin embargo, los sensores de imagen que operan en otros rangos espectrales 25 requerirán la integración híbrida de silicio (por ejemplo, tecnología CMOS) con otros materiales utilizados para los fotodetectores de los píxeles, tales como InGaAs. Dicha integración híbrida implica procesos de unión difíciles y costosos, como se describe, por ejemplo, en el documento US 2008/093554 A1 y en el documento US 6107618 A, que a su vez imponen un límite inferior al tamaño del píxel.

Desarrollada en los últimos años, la tecnología de circuitos integrados tridimensionales (3D) permite la fabricación de 30 circuitos integrados mediante la disposición de dispositivos activos (por ejemplo, transistores) en varios niveles a diferentes alturas, aprovechando así ventajosamente la tercera dimensión de la estructura.

Además de obtener estructuras muy compactas con una huella reducida, los circuitos integrados 3D ofrecen un rendimiento eléctrico mejorado en comparación con los circuitos integrados convencionales. Por ejemplo, como las 35 interconexiones eléctricas se pueden distribuir en toda una superficie entre los niveles de dispositivos activos, es posible una mayor densidad de interconexiones más cortas, lo que da como resultado circuitos más rápidos con más ancho de banda. Además, resulta posible la integración heterogénea de circuitos de diferentes tecnologías de fabricación y/o materiales, mediante el uso, por ejemplo, de procesos de amortiguamiento de obleas para formar interconexiones.

40 Un primer tipo de tecnología de fabricación 3D, conocida como empaquetado 3D, consiste en apilar varias obleas y/o troqueles semiconductores e interconectarlos verticalmente utilizando vías de sustrato pasante (TSV, por sus siglas en inglés) y tecnología de interconexión tradicional, tal como la unión por hilo y/o micropastilla volante para lograr una pila vertical completamente operativa. Alternativamente, la integración 3D monolítica es otro tipo de tecnología de 45 fabricación 3D en la que las capas de dispositivos activos se desarrollan o depositan secuencialmente en un mismo sustrato.

El documento US 8796741 B2 describe un dispositivo de circuito integrado 3D monolítico que incluye un primer nivel que comprende una primera pluralidad de dispositivos activos y un segundo nivel que comprende una segunda 50 pluralidad de dispositivos activos que comprenden una capa de grafeno. Otro sensor creador de imágenes se describe en el documento US2011/315949A1.

Por lo tanto, es 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 puede hacer de una manera simple y eficiente mientras lleva a una 55 arquitectura de circuito integrado altamente compacta.

También es un objeto de la presente invención proporcionar un sensor de imagen en el que sus píxeles comprenden un elemento fotosensible mejorado capaz de obtener una alta ganancia fotoconduktiva, una responsividad mejorada y/o un corto tiempo de respuesta. 60

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sensor de imagen con una sensibilidad mejorada de sus píxeles, y que no requiere un enfriamiento profundo del dispositivo para lograr altas relaciones señal a ruido.

65

EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

Los objetos de la presente invención se resuelven con el sensor de imagen de la reivindicación 1, el sistema optoelectrónico de la reivindicación 15 y el método de fabricación de un sensor de imagen de la reivindicación 16.

5 Otras realizaciones favorables de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

Debido al uso de un circuito integrado tridimensional monolítico, es posible obtener un sensor de imagen que tiene una arquitectura muy compacta. En particular, al disponer el elemento fotosensible de los píxeles en el nivel superior y el dispositivo activo de los píxeles en el nivel inferior, la huella de los píxeles se puede hacer muy pequeña sin comprometer el factor de llenado de píxeles, que todavía puede ser muy alto o incluso estar cerca del 100 %. Además, el uso eficiente de la altura de la estructura se obtiene proporcionando la unidad de control parcial, o incluso totalmente, en el nivel inferior.

En el contexto de la presente invención, un circuito integrado tridimensional monolítico se refiere preferentemente a una disposición apilada de capas desarrolladas o depositadas secuencialmente en un mismo sustrato.

La unidad de control puede disponerse en una o más capas del nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico, donde una de dichas una o más capas es una capa de un material semiconductor. En algunas realizaciones, la capa de un material semiconductor de la unidad de control está dispuesta por encima o por debajo de la capa de un material semiconductor del elemento activo de los píxeles. Sin embargo, en otras realizaciones son una misma capa.

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

En algunas realizaciones, la capa de transporte del elemento fotosensible 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 fotosensibilizante asociada a una capa de transporte preferentemente se refiere al hecho de que un electrón (o un hueco) de un par electrón-hueco generado en la capa fotosensibilizante 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 fotosensibilizante, o una interfaz entre la capa fotosensibilizante y la capa de transporte, tal como, por ejemplo, en una capa dieléctrica dispuesta entre estas. En algunas realizaciones, la capa fotosensibilizante está dispuesta por encima, tal como, por ejemplo, directamente encima, de la capa de transporte. Alternativamente, en algunas otras realizaciones, la capa fotosensibilizante se dispone por 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 fotosensibilizante donde se absorberá.

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

Además, la sensibilidad espectral del elemento fotosensible de los píxeles se puede adaptar ventajosamente seleccionando adecuadamente el material de la capa fotosensibilizante. De esta manera, el rango espectral para la fotodetección del elemento fotosensible puede extenderse sobre un ancho de banda grande.

Finalmente, el circuito de supresión de corriente oscura permite suprimir sustancialmente la corriente oscura generada en los elementos fotosensibles como resultado del voltaje de polarización. De esta manera ya no es necesario renunciar en términos de rendimiento eléctrico de los elementos fotosensibles (por ejemplo, en términos de responsividad) para mantener bajos los niveles de corriente oscura. En consecuencia, independientemente del voltaje de polarización aplicado, el sensor de imagen de la presente invención permite obtener una sensibilidad de píxeles mejorada y altas relaciones señal a ruido, incluso sin enfriar el dispositivo.

En el contexto de la presente invención, la corriente oscura generada por el elemento fotosensible de un píxel durante un ciclo de exposición se considera sustancialmente suprimida si la corriente oscura residual en un nodo de salida del circuito de supresión de corriente oscura es menor que un 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 8 %, 5 %, 3 % o incluso 1 % de la corriente oscura original en un nodo de entrada del circuito de supresión de corriente oscura.

Alternativamente, en algunas realizaciones de la presente invención, la unidad de control del sensor de imagen está configurada para, cuando se va a leer un píxel dado, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio de dicho píxel con el terminal de salida de dicho píxel, estando dicho terminal de salida conectado circuitalmente al circuito de lectura a través del circuito de supresión de corriente oscura.

65

En algunas realizaciones, la capa fotosensibilizante del elemento fotosensible de uno o más píxeles comprende un semiconductor fotoabsorbente, un polímero, un colorante, puntos cuánticos (tales como, por ejemplo, puntos cuánticos coloidales), perovskita y/o una combinación de los mismos.

5 La capa fotosensibilizante puede comprender, por ejemplo, películas nanocompuestas que contienen mezclas de los materiales antes mencionados. También puede ser una estructura de una sola capa o, alternativamente, una estructura de múltiples capas, en la que uno o más de los materiales mencionados anteriormente constituyen capas diferentes apiladas entre sí, teniendo cada una espesores preferentemente entre aproximadamente 5 nm y aproximadamente 400 nm.

10

En aquellas realizaciones en las que la capa fotosensibilizante comprende puntos cuánticos, estos son preferentemente de uno o más de los siguientes tipos: Ag_2S , Bi_2S_3 , CdS , $CdSe$, $CdHgTe$, Cu_2S , CIS (disulfuro de cobre e indio), CIGS (seleniuro de cobre, indio y galio), CZTS (sulfuro de cobre, zinc y estaño), Ge, $HgTe$, $InAs$, $InSb$, ITO (óxido de indio y estaño), PbS , $PbSe$, Si, SnO_2 , ZnO y ZnS .

15

De manera similar, en algunas realizaciones, la al menos una capa de un material bidimensional comprendido en la capa de transporte del elemento fotosensible de uno o más píxeles comprende uno o más de los siguientes materiales: grafeno, MoS_2 , $MoSe_2$, WS_2 , WSe_2 , fósforo negro, SnS_2 y h-BN (nitruro de boro hexagonal).

20 En algunas realizaciones de la presente invención, el circuito de supresión de corriente oscura comprende al menos un cambiador de nivel adaptado para sustraer un nivel de voltaje que es sustancialmente igual al nivel de voltaje generado por la corriente oscura del elemento fotosensible de los píxeles durante un ciclo de exposición. Además, en estas realizaciones, la unidad de control está configurada para, cuando se va a leer un píxel dado, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio con un nodo de entrada de un cambiador de nivel dado de dicho al menos un cambiador de nivel y el terminal de salida de dicho píxel con un nodo de salida de dicho cambiador de nivel dado.

El cambiador de nivel realiza la sustracción de fotogramas oscuros eliminando ventajosamente una estimación del ruido medio de patrón fijo debido a la integración de corriente oscura durante el ciclo de exposición.

30 En el contexto de la presente invención, dos niveles de voltaje se consideran sustancialmente iguales si uno difiere del otro en menos de un 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, 8 %, 5 %, 3 % o incluso 1 %.

En el contexto de la presente invención, se considera que una capa (o un elemento o un dispositivo) del circuito integrado tridimensional monolítico está por encima de otra, si la primera está más lejos de la al menos una capa de un material semiconductor del nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico que la segunda, a lo largo de una dirección perpendicular a dicha al menos una capa de un material semiconductor.

35

De manera similar, se considera que una capa (o un elemento o un dispositivo) del circuito integrado tridimensional monolítico está por debajo de otra, si la primera está más cerca de la al menos una capa de un material semiconductor del nivel inferior de dicho circuito integrado tridimensional monolítico que la segunda, a lo largo de dicha dirección perpendicular.

40

También según la presente invención, los términos por encima (o por debajo) no deben interpretarse en el sentido de que una capa (o elemento o dispositivo) esté inmediata 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.

45

De la misma manera, en el contexto de la presente invención, el término conectado circuitalmente se refiere preferentemente al hecho de que una primera entidad (por ejemplo, un terminal, un elemento o un circuito) puede conectarse a una segunda entidad por medio de un circuito, que puede comprender una o más pistas conductoras 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.

50

55 En algunas otras realizaciones, la unidad de control comprende un circuito de polarización para polarizar la pluralidad de píxeles, y el circuito de supresión de corriente oscura comprende al menos un elemento de referencia que tiene una conductancia oscura que coincide con la conductancia oscura del elemento fotosensible de los píxeles. El/cada elemento de referencia está conectado circuitalmente entre un segundo terminal intermedio y un segundo terminal de polarización, estando el segundo terminal de polarización conectado circuitalmente al circuito de polarización. Además, el elemento fotosensible de cada píxel está conectado circuitalmente entre el primer terminal intermedio de dicho píxel y un primer terminal de polarización proporcionado en dicho píxel, estando el primer terminal de polarización de cada píxel conectado circuitalmente al circuito de polarización. En estas realizaciones, el circuito de polarización está adaptado para proporcionar un voltaje de polarización entre el primer terminal de polarización del elemento fotosensible de los píxeles de la pluralidad de píxeles y el segundo terminal de polarización del al menos un elemento de referencia. Adicionalmente, la unidad de control está configurada para, cuando se va a leer un píxel dado, conectar

60

65

circuitalmente el primer terminal intermedio de dicho píxel y el segundo terminal intermedio de un elemento de referencia de dicho al menos un elemento de referencia con el terminal de salida de dicho píxel.

De esta manera, el elemento ciego o de referencia simula el comportamiento del elemento fotosensible de los píxeles durante el ciclo de exposición, permitiendo un esquema de lectura equilibrado de la fotoseñal generada en el elemento fotosensible de los píxeles por la luz incidente.

Según la presente invención, la conductancia oscura de un elemento de referencia coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotosensible de los píxeles si la conductancia oscura del elemento de referencia no difiere de la conductancia oscura del elemento fotosensible de los píxeles en más de 25 %, 20 %, 15 %, 15 %, 10 %, 8 %, 5 %, 3 % o incluso 1 %.

En estas realizaciones, el voltaje de polarización aplicado entre el primer terminal de polarización del elemento fotosensible de los píxeles y el segundo terminal de polarización del al menos un elemento de referencia es preferentemente un voltaje equilibrado. Es decir, un primer voltaje de polarización aplicado entre dicho primer terminal de polarización y un terminal de referencia del circuito de polarización es simétrico (es decir, la misma magnitud pero signo opuesto) a un segundo voltaje de polarización aplicado entre dicho segundo terminal de polarización y dicho terminal de referencia.

A continuación, mediante la conexión circuital del primer terminal intermedio de dicho píxel y el segundo terminal intermedio de un elemento de referencia de dicho al menos un elemento de referencia con el terminal de salida de dicho píxel, el voltaje diferencial en el nodo resultante formado por la conexión de los dos terminales intermedios contiene directamente la fotoseñal de dicho píxel.

Preferentemente, un elemento de referencia del al menos un elemento de referencia está dispuesto en dicho nivel superior y comprende una capa de transporte que incluye al menos una capa de un material bidimensional. Más preferentemente, dicho elemento de referencia comprende además una capa fotosensibilizante asociada a la capa de transporte de dicho elemento de referencia.

Como la estructura del elemento de referencia imita la de los elementos fotosensibles de los píxeles, es posible obtener de una manera sencilla un elemento de referencia con una conductancia oscura que coincida de manera precisa con la conductancia oscura de los elementos fotosensibles.

En algunas realizaciones, dicho elemento de referencia tiene la misma geometría que el elemento fotosensible de los píxeles, pero dimensiones transversales más pequeñas. De esta manera, las sobrecargas en el espacio debido a la presencia del elemento de referencia se minimizan sin alterar la conductancia oscura de dicho elemento de referencia, que debe coincidir sustancialmente con la conductancia oscura de los elementos fotosensibles.

En una realización, las dimensiones transversales del al menos un elemento de referencia están por debajo del límite de difracción para el intervalo de longitudes de onda de funcionamiento del elemento fotosensible de la pluralidad de píxeles. De esta manera, el al menos un elemento de referencia no bloquea ninguna luz incidente en el sensor de imagen.

En algunos ejemplos en los que un elemento de referencia comprende una capa de transporte y una capa fotosensibilizante asociada a esta, dicho elemento de referencia comprende además una primera capa de bloqueo de luz dispuesta por encima de la capa fotosensibilizante y la capa de transporte de dicho elemento de referencia.

La primera capa de bloqueo de luz cubre ventajosamente la capa fotosensibilizante y la capa de transporte de dicho elemento de referencia, asegurando que no se genere ninguna fotoseñal en el elemento de referencia por la luz que incide en el sensor de imagen. De lo contrario, la conductancia oscura de dicho elemento de referencia se modificaría de forma no deseable y, por ende, su capacidad para sustraer el componente de corriente oscura de la fotoseñal generada en el elemento fotosensible de los píxeles se degradaría.

Más preferentemente, dicho elemento de referencia también comprende una segunda capa de bloqueo de luz dispuesta por debajo de la capa fotosensibilizante y de la capa de transporte de dicho elemento de referencia.

La segunda capa de bloqueo de luz protege la capa fotosensibilizante y la capa de transporte de dicho elemento de referencia de la luz que podría llegar a través de las capas del nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico, como podría suceder en aquellos casos en los que el sensor de imagen comprende un sustrato transparente o parcialmente transparente.

En una realización, las primera y/o segunda capas de bloqueo de luz adoptan la forma de una capa de pasivación, comprendiendo dicha capa de pasivación preferentemente un óxido.

Alternativamente, en otros ejemplos de tales casos, la capa fotosensibilizante de dicho elemento de referencia no es

sensible en el intervalo de longitudes de onda de funcionamiento del elemento fotosensible de la pluralidad de píxeles.

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

5

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

10

Opcionalmente, dicho elemento de referencia está dispuesto por debajo del elemento fotosensible de un píxel de la pluralidad de píxeles. Dicha disposición aprovecha ventajosamente la tercera dimensión del circuito integrado para obtener una arquitectura aún más compacta. Además, al disponer el elemento de referencia por debajo del elemento fotosensible, se evita adicionalmente la absorción de luz por la capa de transporte y/o la capa fotosensibilizante del elemento de referencia.

15

Sin embargo, en otras realizaciones, dicho elemento de referencia está dispuesto en una misma capa que el elemento fotosensible de un píxel.

20

Alternativamente, un elemento de referencia del al menos un elemento de referencia puede disponerse en dicho nivel inferior y comprender una resistencia. Dicha resistencia puede ser una resistencia fija o, alternativamente, una resistencia variable (tal como, por ejemplo, una resistencia variable analógica y/o digital).

25

Dicha resistencia puede implementarse ventajosamente en el nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico utilizando tecnologías a base de silicio baratas, tales como, por ejemplo, la tecnología CMOS. Además, al llevar uno o más elementos de referencia a los niveles inferiores, más espacio en el nivel superior está disponible para el elemento fotosensible de los píxeles.

30

En algunos casos, el nivel superior comprende una o más capas aislantes asociadas al elemento fotosensible de la pluralidad de píxeles. En tales casos, al menos un píxel de la pluralidad de píxeles puede comprender preferentemente:

- un terminal de puerta trasera dispuesto por debajo del elemento fotosensible de dicho al menos un píxel, entre una capa aislante dispuesta debajo del elemento fotosensible de la pluralidad de píxeles y el nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico; y/o
- un terminal de puerta superior dispuesto por encima del elemento fotosensible de dicho al menos un píxel.

35

Preferentemente, dichas una o más capas aislantes comprenden un óxido.

40

Según la presente invención, una capa aislante asociada a un elemento fotosensible se refiere preferentemente al hecho de que la capa aislante se dispone por encima (tal como, por ejemplo, directamente encima) o alternativamente por debajo (tal como, por ejemplo, directamente debajo) tanto de la capa de transporte como de la capa fotosensible de dicho elemento fotosensible.

45

Al proporcionar un terminal de puerta trasera y/o un terminal de puerta superior, el elemento fotosensible de los píxeles puede activarse para controlar finamente la conducción y fotosensibilidad de la capa fotosensibilizante.

Preferentemente, el terminal de puerta superior está hecho de un material transparente, para no obstaculizar las capacidades de absorción de luz del elemento fotosensible de los píxeles.

50

En aquellos casos en los que un elemento de referencia del al menos un elemento de referencia comprende una capa de transporte, dicho elemento de referencia también puede comprender un terminal de puerta trasera dispuesto por debajo de su capa de transporte y/o un terminal de puerta superior dispuesto por encima de su capa de transporte. Más preferentemente, se proporciona una capa de aislamiento entre la capa de transporte de dicho elemento de referencia y el terminal de puerta trasera (o el terminal de puerta superior).

55

El elemento fotosensible de cada píxel comprende en sus extremos un contacto de drenador y un contacto de fuente. El contacto de drenador se conecta circuitalmente al primer terminal intermedio del píxel, mientras que el contacto de fuente se puede conectar circuitalmente al primer terminal de polarización del píxel.

60

En algunas realizaciones, el circuito de polarización se adapta adicionalmente para proporcionar un desplazamiento de voltaje tanto en el contacto de fuente como en el contacto de drenador del elemento fotosensible de los píxeles. En tales casos, un voltaje en el contacto de fuente del elemento fotosensible se da preferentemente por $V_{\text{SRC}} = V_{\text{DESPLAZAMIENTO}} + V_{\text{POLARIZACIÓN}}$, mientras que el voltaje en el contacto de drenador se da preferentemente por $V_{\text{DRN}} = V_{\text{DESPLAZAMIENTO}}$. $V_{\text{DESPLAZAMIENTO}}$ es el voltaje de modo común, o desplazamiento de voltaje, aplicado a los contactos

65

de drenador y fuente, mientras que $V_{\text{POLARIZACIÓN}}$ es la caída de voltaje a través de los extremos del elemento fotosensible.

De manera similar, en aquellos casos en los que un elemento de referencia del al menos un elemento de referencia
5 comprende una capa de transporte, dicho elemento de referencia comprende preferentemente en sus extremos un contacto de drenador y un contacto de fuente. En tales casos, el circuito de polarización puede adaptarse adicionalmente para proporcionar un desplazamiento de voltaje tanto en el contacto de fuente como en el contacto de drenador de dicho elemento de referencia de la misma manera que se describió anteriormente para el elemento fotosensible.

10

Preferentemente, al menos un píxel de la pluralidad de píxeles comprende una interconexión conductiva para acoplar el dispositivo activo de dicho píxel al elemento fotosensible de dicho píxel.

En algunos casos, la interconexión conductiva comprende un contacto vertical que se extiende desde el nivel inferior
15 hasta el nivel superior del circuito integrado tridimensional monolítico y que tiene una primera sección conectada al dispositivo activo de dicho píxel, estando dicha primera sección dispuesta en la al menos una capa semiconductor de dicho dispositivo activo, y una segunda sección conectada óhmicamente a la capa de transporte del elemento fotosensible de dicho píxel.

Tal tipo de interconexión conductiva es particularmente ventajoso cuando el dispositivo activo de un píxel está en la
20 proyección perpendicular de la capa de transporte del elemento fotosensible de dicho píxel. En estos casos, la capa de transporte de dicho elemento fotosensible interseca el contacto vertical perpendicularmente en la segunda sección, y se puede obtener una buena conexión óhmica entre el contacto vertical y la al menos una capa de un material bidimensional comprendido en la capa de transporte.

25

La primera sección y/o la segunda sección pueden encontrarse en un extremo del contacto vertical o, alternativamente, en un punto intermedio del contacto vertical. En una realización preferida, la primera sección y la segunda sección están en los extremos opuestos del contacto vertical.

Alternativamente, en algunos otros casos, la interconexión conductiva comprende un contacto vertical que se extiende
30 desde el nivel inferior hasta el nivel superior del circuito integrado tridimensional monolítico y que tiene una primera sección conectada al dispositivo activo de dicho píxel, estando dicha primera sección dispuesta en la al menos una capa semiconductor de dicho dispositivo activo; y un contacto lateral dispuesto en dicho nivel superior y conectado a una segunda sección del contacto vertical. El contacto lateral está conectado óhmicamente a la capa de transporte del
35 elemento fotosensible de dicho píxel y comprende una porción que es paralela a la capa de transporte de dicho elemento fotosensible.

El contacto lateral permite superar la rugosidad superficial, e incluso hendiduras en la superficie del circuito integrado, y establecer una buena conexión eléctrica con la capa de transporte de los elementos fotosensibles de una manera
40 más flexible, especialmente cuando el contacto vertical de la interconexión conductiva no puede disponerse debajo de la capa de transporte del elemento fotosensible de dicho píxel.

Preferentemente, dicha porción paralela a la capa de transporte de dicho elemento fotosensible está dispuesta
45 directamente encima, directamente debajo o coplanar a dicha capa de transporte. Dicha disposición facilita, estructural y eléctricamente, la conexión del contacto lateral con las una o más capas de material bidimensional comprendido en la capa de transporte del elemento fotosensible del píxel.

El dispositivo activo de cada píxel de la pluralidad de píxeles puede comprender un interruptor, un amplificador, un
50 filtro, un digitalizador, un cambiador de nivel y/o un elemento de almacenamiento.

Según la presente invención, el término dispositivo activo se refiere preferentemente a un dispositivo que comprende al menos un transistor y que requiere al menos una señal de control o un voltaje de polarización, independientemente de si dicho dispositivo logra alguna ganancia.

Puede ser preferible incorporar más elementos electrónicos en cada píxel para aquellas aplicaciones del sensor de
55 imagen en las que se requiere un alto ancho de banda y rendimiento.

En algunas realizaciones del sensor de imagen de la presente invención, la pluralidad de píxeles se agrupa en grupos, comprendiendo cada grupo uno o más píxeles, donde la capa fotosensibilizante del elemento fotosensible del uno o
60 más píxeles de cada grupo es sensible a un rango diferente del espectro.

Esto permite obtener un sensor de imagen con un intervalo de frecuencias de funcionamiento extendido, que abarca desde los fotones de rayos X y el ultravioleta (UV) hasta el infrarrojo (IR), incluidos el infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés), el infrarrojo de onda corta (SWIR, por sus siglas en inglés), el infrarrojo de onda media (MWIR, por sus siglas en inglés) y el infrarrojo de onda larga (LWIR, por sus siglas en inglés), e incluso las frecuencias de THz.
65

También permite implementar sensores de imagen que tienen píxeles multicolor, por ejemplo, adaptando las propiedades del material seleccionado para la capa fotosensibilizante.

Preferentemente, para al menos un píxel de la pluralidad de píxeles, el dispositivo activo de dicho al menos un píxel está acoplado operativamente al primer terminal intermedio del elemento fotosensible de dicho al menos un píxel. Dicho esquema de interconexión permite que el dispositivo activo implemente parte o incluso la totalidad de la circuitería necesaria para llevar la fotoseñal generada en el elemento fotosensible de un píxel dado al terminal de salida de dicho píxel.

10 En determinadas realizaciones del sensor de imagen de la presente invención, la pluralidad de píxeles está dispuesta como una matriz bidimensional que comprende una pluralidad de filas y columnas. Preferentemente, las filas y/o columnas de la matriz son direccionables secuencialmente.

15 En un primer grupo de dichas realizaciones, el circuito de supresión de corriente oscura comprende tantos elementos de referencia como columnas haya en la matriz, estando cada elemento de referencia asociado a los píxeles de una columna diferente; el dispositivo activo de cada píxel comprende un primer interruptor configurado para conectar selectivamente el primer terminal intermedio del píxel al segundo terminal intermedio del elemento de referencia asociado a la columna de dicho píxel, y un segundo interruptor configurado para conectar selectivamente el primer terminal intermedio del píxel a su terminal de salida; y el circuito de lectura comprende:

- 20 - tantos amplificadores como columnas haya, teniendo cada amplificador un terminal de entrada, conectado circuitalmente al terminal de salida de los píxeles de una columna dada; y
- un elemento de almacenamiento conectado en serie a un terminal de salida de cada amplificador, estando cada elemento de almacenamiento configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en un píxel de dicha columna dada.

Dado que un mismo elemento de referencia y la mayoría de la circuitería de lectura son compartidos por los píxeles de toda una columna, el diseño de píxeles resultante en estas realizaciones se simplifica en gran medida.

30 En un segundo grupo de dichas realizaciones, el circuito de supresión de corriente oscura comprende un elemento de referencia dispuesto en cada píxel de la pluralidad de píxeles, teniendo cada elemento de referencia su segundo terminal intermedio conectado al primer terminal intermedio del píxel; y el dispositivo activo de cada píxel comprende un interruptor de selección de fila conectado a su terminal de salida.

35 A pesar de aumentar la complejidad del diseño de píxeles, tener un elemento de referencia en cada píxel proporciona un mejor control para suprimir la corriente oscura generada por el elemento fotosensible de los píxeles, ya que cada elemento de referencia se puede ajustar finamente de manera que su conductancia oscura coincida estrechamente con la conductancia oscura del elemento fotosensible al que se asocia dicho elemento de referencia.

40 En una realización de dicho segundo grupo, el interruptor de selección de fila del dispositivo activo de cada píxel está configurado para conectar selectivamente el terminal de salida del píxel a su primer terminal intermedio; y el circuito de lectura comprende:

- 45 - tantos amplificadores como columnas haya, teniendo cada amplificador un terminal de entrada, conectado circuitalmente al terminal de salida de los píxeles de una columna dada; y
- un elemento de almacenamiento conectado en serie a un terminal de salida de cada amplificador, estando cada elemento de almacenamiento configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en un píxel de dicha columna dada.

50 Dicha realización constituye un buen compromiso en términos de diseño de píxeles, ya que la inclusión del elemento de referencia en el píxel se contrarresta con un diseño simplificado del dispositivo activo de los píxeles.

En una realización alternativa de dicho segundo grupo, el dispositivo activo de cada píxel comprende, además:

- 55 - un amplificador que tiene un terminal de entrada, conectado circuitalmente al primer terminal intermedio y un terminal de salida; y
- un elemento de almacenamiento conectado en serie al terminal de salida del amplificador, estando el elemento de almacenamiento configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en el elemento fotosensible del píxel; y

60 donde el interruptor de selección de fila está configurado para conectar selectivamente el terminal de salida del píxel al elemento de almacenamiento.

La amplificación en píxeles hace que el píxel sea más resistente al ruido y permite una lectura de píxeles más rápida, lo que mejora la escalabilidad de la matriz de píxeles del sensor de imagen.

En algunas realizaciones adicionales del sensor de imagen según la presente invención, el circuito de supresión de corriente oscura comprende cambiadores de nivel en lugar de elementos de referencia. Sin embargo, la topología del circuito de lectura y el dispositivo activo de los píxeles son similares a los ya discutidos.

5

En un tercer grupo de dichas realizaciones, el circuito de supresión de corriente oscura comprende tantos cambiadores de nivel como columnas haya en la matriz, estando cada cambiador de nivel asociado a los píxeles de una columna diferente; el dispositivo activo de cada píxel comprende un primer interruptor configurado para conectar selectivamente el primer terminal intermedio del píxel al nodo de entrada del cambiador de nivel asociado a la columna de dicho píxel, y un segundo interruptor configurado para conectar selectivamente el nodo de salida de dicho cambiador de nivel al terminal de salida de dicho píxel; y el circuito de lectura comprende:

10

- tantos amplificadores como columnas haya, teniendo cada amplificador un terminal de entrada, conectado circuitalmente al terminal de salida de los píxeles de una columna dada; y
- un elemento de almacenamiento conectado en serie a un terminal de salida de cada amplificador, estando cada elemento de almacenamiento configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en un píxel de dicha columna dada.

15

En un cuarto grupo de dichas realizaciones, el circuito de supresión de corriente oscura comprende un cambiador de nivel dispuesto en cada píxel de la pluralidad de píxeles, teniendo cada cambiador de nivel su nodo de entrada conectado al primer terminal intermedio del píxel; y el dispositivo activo de cada píxel comprende un interruptor de selección de fila conectado a su terminal de salida.

20

En una realización de dicho cuarto grupo, el interruptor de selección de fila del dispositivo activo de cada píxel está configurado para conectar selectivamente el terminal de salida del píxel al nodo de salida del cambiador de nivel comprendido en dicho píxel; y el circuito de lectura comprende:

25

- tantos amplificadores como columnas haya, teniendo cada amplificador un terminal de entrada, conectado circuitalmente al terminal de salida de los píxeles de una columna dada; y
- un elemento de almacenamiento conectado en serie a un terminal de salida de cada amplificador, estando cada elemento de almacenamiento configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en un píxel de dicha columna dada.

30

En una realización alternativa de dicho cuarto grupo, el dispositivo activo de cada píxel comprende, además:

35

- un amplificador que tiene un terminal de entrada, conectado circuitalmente al nodo de salida del cambiador de nivel de dicho píxel, y un terminal de salida; y
- un elemento de almacenamiento conectado en serie al terminal de salida del amplificador, estando el elemento de almacenamiento configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en el elemento fotosensible del píxel; y

40

donde el interruptor de selección de fila está configurado para conectar selectivamente el terminal de salida del píxel al elemento de almacenamiento.

45

La unidad de control preferentemente incluye un circuito de interconexión (tal como, por ejemplo, pero no se limita a, un multiplexor) conectado operativamente al circuito de lectura y que comprende una pluralidad de nodos de salida. El circuito de interconexión permite conectar circuitalmente, a través del circuito de lectura, el terminal de salida de cualquiera de los píxeles de la matriz con uno o más nodos de salida.

50

En algunas realizaciones, la unidad de control comprende una etapa posterior de amplificación conectada operativamente a al menos un nodo de salida de la pluralidad de 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 posterior de amplificación. La etapa de muestreo doble de correlación elimina ventajosamente cualquier desplazamiento no deseado en los valores detectados de las fotoseñales leídas de los píxeles y reduce los componentes de ruido de lectura.

55

También opcionalmente, la unidad de control comprende adicionalmente un convertor analógico a digital conectado operativamente después de la etapa posterior de amplificación. De esta manera, las salidas del sensor de imagen se pueden interconectar directamente con el conjunto de circuitos digitales, tales como, por ejemplo, una matriz de puertas programable en campo (FPGA, por sus siglas en inglés), un procesador de señales digitales (DSP, por sus siglas en inglés), un microprocesador o un microcontrolador.

60

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un sistema optoelectrónico que comprende:

65

- un sensor de imagen según la presente invención;
- un módulo óptico interconectado operativamente con el sensor de imagen, estando el módulo óptico adaptado para enfocar la luz entrante en la pluralidad de píxeles;
- 5 - un módulo de suministro de energía conectado operativamente a la unidad de control del sensor de imagen, estando el módulo de suministro de energía configurado para proporcionar un voltaje de polarización al sensor de imagen;
- un módulo de control analógico y/o digital conectado operativamente a la unidad de control del sensor de imagen, estando el módulo de control analógico y/o digital configurado para proporcionar señales de control a la unidad de control para leer selectivamente los píxeles y para recibir una pluralidad de valores detectados correspondientes a las fotoseñales leídas de la pluralidad de píxeles por el circuito de lectura; y
- 10 - un módulo periférico conectado operativamente al módulo de control analógico y/o digital, estando el módulo periférico configurado para procesar, almacenar y/o representar gráficamente una imagen obtenida de la pluralidad de valores detectados.

15 En algunas realizaciones, el sistema optoelectrónico de la presente invención forma parte de una cámara, que se puede utilizar para la visión diurna y/o nocturna, fotografía, aplicaciones automotrices, visión artificial para aplicaciones de inspección (tal como, por ejemplo, inspección SWIR de alimentos o semiconductores) o vigilancia, entre otras aplicaciones.

20 Aún otro aspecto de la presente invención se refiere a un método de fabricación de un sensor de imagen como un circuito integrado tridimensional monolítico, donde el sensor de imagen comprende una pluralidad de píxeles conectados operativamente a una unidad de control que incluye un circuito de lectura para leer selectivamente las fotoseñales generadas por la luz que incide en la pluralidad de píxeles, comprendiendo el método las etapas de:

- a) proporcionar al menos una capa de material semiconductor en un sustrato, formando dicha al menos una capa de material semiconductor un nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico;
- b) para cada píxel de la pluralidad de píxeles, disponer un dispositivo activo en una ubicación seleccionada de la al menos una capa de material semiconductor de dicho nivel inferior, y proporcionar un terminal de salida al píxel;
- 30 c) disponer al menos una parte de la unidad de control en dicho nivel inferior y conectar circuitalmente el terminal de salida de cada píxel al circuito de lectura de la unidad de control;
- d) proporcionar una capa de transporte que incluye al menos una capa de un material bidimensional, y una capa fotosensibilizante asociada a la capa de transporte, formando la capa de transporte y la capa fotosensibilizante un nivel superior del circuito integrado tridimensional monolítico, estando dicho nivel superior dispuesto por encima de dicho nivel inferior;
- 35 e) para cada píxel de la pluralidad de píxeles, disponer un elemento fotosensible en una ubicación seleccionada de dicho nivel superior y conectar circuitalmente el elemento fotosensible a un primer terminal intermedio que se proporciona en dicho píxel;
- f) acoplar operativamente el elemento fotosensible de cada píxel al dispositivo activo de dicho píxel; y
- 40 g) proporcionar un circuito de supresión de corriente oscura configurado para suprimir sustancialmente la corriente oscura generada por el elemento fotosensible de los píxeles durante un ciclo de exposición.

Además, la unidad de control está configurada para, cuando se va a leer un píxel dado, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio de dicho píxel con el terminal de salida de dicho píxel a través del circuito de supresión de corriente oscura.

50 En algunas realizaciones preferidas, la unidad de control incluye además un circuito de polarización para polarizar la pluralidad de píxeles, y el circuito de supresión de corriente oscura comprende al menos un elemento de referencia que tiene una conductancia oscura que coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotosensible de los píxeles. En dichas realizaciones, el método comprende además las etapas de:

- para cada píxel de la pluralidad de píxeles, conectar circuitalmente el elemento fotosensible entre el primer terminal intermedio y un primer terminal de polarización que se proporciona en dicho píxel;
- conectar circuitalmente el/cada elemento de referencia entre un segundo terminal intermedio y un segundo terminal de polarización que se proporciona en el circuito integrado tridimensional monolítico; y
- 55 - conectar circuitalmente el primer terminal de polarización de cada píxel de la pluralidad de píxeles y el segundo terminal de polarización del al menos un elemento de referencia al circuito de polarización.

Adicionalmente, en estas realizaciones, la unidad de control está configurada para, cuando se va a leer un píxel dado, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio de dicho píxel y el segundo terminal intermedio de un elemento de referencia de dicho al menos un elemento de referencia con el terminal de salida de dicho píxel.

65 En algunas realizaciones, el método comprende además la etapa de proporcionar una capa de encapsulación por encima de la capa de transporte y la capa fotosensibilizante. De esta manera, los elementos fotosensibles de los píxeles se protegen ventajosamente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

A continuación, se describirán algunas realizaciones preferidas de la invención con referencia a las figuras adjuntas.
5 Se proporcionan solo con fines de ilustración sin limitar no obstante el alcance de la invención.

La Figura 1a es una vista en planta superior de un diagrama de bloques de un sensor de imagen de ejemplo según la presente invención.

10 La Figura 1b corresponde a una vista en sección transversal del sensor de imagen de la figura 1a a lo largo de una línea B-B'.

Las Figuras 2a-2f son vistas en sección transversal de un píxel de un sensor de imagen según la presente invención que comprende dos interconexiones conductivas para acoplar el dispositivo activo del píxel a la capa de transporte del elemento fotosensible de dicho píxel, en las que: (a) las interconexiones conductivas comprenden un contacto lateral con una porción dispuesta directamente debajo y paralela a la capa de transporte; (b) las interconexiones conductivas comprenden un contacto lateral con una porción dispuesta de forma coplanar a la capa de transporte; (c) las interconexiones conductivas comprenden un contacto lateral con una porción dispuesta directamente encima y paralela a la capa de transporte; (d) las interconexiones conductivas comprenden un contacto lateral con una porción dispuesta por encima y paralela a la capa de transporte y una porción vertical adicional; (e) las interconexiones conductivas comprenden un contacto vertical con un extremo dispuesto directamente debajo y conectado óhmicamente a la capa de transporte; (f) las interconexiones conductivas comprenden un contacto vertical conectado óhmicamente a la capa de transporte en un punto intermedio del contacto vertical.

25 La Figura 2g representa, en una vista en sección transversal, una alternativa a la realización mostrada en la figura 1b en la que los elementos fotosensibles de una fila de píxeles comparten un contacto de fuente común.

La Figura 3 es una vista en sección transversal de un píxel para un sensor de imagen según la presente invención, en la que el píxel comprende un terminal de puerta trasera y un terminal de puerta superior.

30 La Figura 4 ilustra tres ejemplos diferentes de un circuito de supresión de corriente oscura del sensor de imagen de la presente invención, estando el circuito de supresión de corriente oscura conectado circuítalmente al elemento fotosensible de un píxel, en la que: (a) el circuito de supresión de corriente oscura comprende un elemento de referencia que está conectado directamente al elemento fotosensible del píxel; (b) el circuito de supresión de corriente oscura comprende un elemento de referencia que está conectado al elemento fotosensible del píxel a través de un circuito de desviación de corriente; y (c) el circuito de supresión de corriente oscura comprende un cambiador de nivel en cascada con un amplificador de transimpedancia, y está conectado en serie con el elemento fotosensible del píxel.

La Figura 5 muestra cuatro ejemplos diferentes de un elemento de referencia comprendido en un sensor de imagen según la presente invención, estando el elemento de referencia conectado circuítalmente al elemento fotosensible de un píxel: (a) el elemento de referencia es una resistencia fija; (b) el elemento de referencia es una resistencia variable; (c) el elemento de referencia comprende una capa de transporte sin ninguna capa fotosensibilizante asociada a esta; y (d) el elemento de referencia comprende una capa de transporte, una capa fotosensibilizante asociada a esta y una primera capa de bloqueo de luz.

45 La Figura 6 corresponde a una vista en sección transversal de un píxel adecuado para un sensor de imagen según la presente invención, en la que el píxel comprende un elemento de referencia dispuesto debajo del elemento fotosensible del píxel.

50 La Figura 7a muestra un diagrama de bloques esquemático de una realización de un sensor de imagen según la presente invención en la que un mismo elemento de referencia y un mismo amplificador en cascada con un elemento de almacenamiento es compartido por varios píxeles.

La Figura 7b es un diagrama de bloques esquemático de otra realización de un sensor de imagen según la presente invención en la que cada píxel comprende un elemento de referencia, pero un mismo amplificador en cascada con un elemento de almacenamiento es compartido por varios píxeles.

La Figura 7c muestra un diagrama de bloques esquemático de aún otra realización de un sensor de imagen según la presente invención en la que cada píxel comprende su propio elemento de referencia, amplificador y elemento de almacenamiento en cascada con los mismos.

La Figura 7d ilustra un diagrama de bloques esquemático de una realización adicional de un sensor de imagen según la presente invención en la que varios píxeles comparten un mismo cambiador de nivel, amplificador y elemento de almacenamiento.

65

La Figura 8 representa una vista en sección transversal de un píxel para un sensor de imagen según la presente invención, en la que el dispositivo activo del píxel comprende un amplificador dispuesto en el nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico del sensor de imagen.

- 5 La Figura 9 es una representación esquemática de un sensor de imagen de ejemplo en la que sus píxeles se agrupan en grupos, siendo cada grupo sensible a un rango diferente del espectro.

La Figura 10 es un diagrama de bloques de un sistema optoelectrónico según una realización de la presente invención.

10 DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

En la figura 1a se ilustra una vista en planta superior de un diagrama de bloques de una realización del sensor de imagen según la presente invención. En particular, el sensor de imagen 100 comprende una pluralidad de píxeles 101 dispuestos como una matriz bidimensional de filas M y columnas N. La pluralidad de píxeles 101 están conectados operativamente a una unidad de control que incluye un circuito de polarización 103 para polarizar la pluralidad de píxeles 101 y un circuito de lectura 102 para leer selectivamente las fotoseñales generadas por la luz que incide en la pluralidad de píxeles 101.

Como puede observarse mejor en la vista en sección transversal de la figura 1b, el sensor de imagen 100 comprende un circuito integrado tridimensional monolítico 104 que comprende un nivel superior 105 que tiene una primera pluralidad de capas apiladas y un nivel inferior 106, dispuesto debajo del nivel superior, que tiene una segunda pluralidad de capas apiladas.

Cada píxel 101 de la pluralidad de píxeles comprende un elemento fotosensible 107 dispuesto en una ubicación seleccionada de dicho nivel superior 105 (en particular, hay tres píxeles 101 completamente representados en la figura 1b). El elemento fotosensible 107 comprende una capa fotosensibilizante 108 asociada a una capa de transporte 109 que incluye al menos una capa de un material bidimensional. En este ejemplo, la capa fotosensibilizante 108 se dispone por encima (y en particular, directamente encima) de la capa de transporte 109. Sin embargo, en otros ejemplos, la capa fotosensibilizante puede estar por debajo de la capa de transporte del elemento fotosensible de los píxeles.

Además, cada píxel 101 también comprende un dispositivo activo 110 dispuesto en una ubicación seleccionada de dicho nivel inferior 106. El dispositivo activo 110 comprende al menos una capa de un material semiconductor (por ejemplo, silicio) y está acoplado operativamente al elemento fotosensible 107. Aunque el dispositivo activo 110 en el ejemplo ilustrado en la figura 1b se fabrica utilizando tecnología CMOS, se pueden utilizar igualmente otras tecnologías de fabricación conocidas en la técnica. Finalmente, cada píxel 101 comprende un primer terminal intermedio conectado circuitalmente al elemento fotosensible 107 y un terminal de salida conectado circuitalmente al circuito de lectura 102.

El circuito integrado tridimensional monolítico 104 incluye un sustrato CMOS 118 dispuesto en la parte inferior del nivel inferior 106, y una capa aislante 119 dispuesta debajo de la capa de transporte 109 para separar el elemento fotosensible 107 de una pila dieléctrica CMOS 117.

El sensor de imagen 100 comprende además un circuito de supresión de corriente oscura configurado para suprimir sustancialmente la corriente oscura generada por el elemento fotosensible 107 de los píxeles 101 durante un ciclo de exposición. En ese sentido, la unidad de control del sensor de imagen 100, que está dispuesta en parte en dicho nivel inferior 106, está configurada para, cuando se va a leer un píxel 101 dado, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio de dicho píxel 101 con el terminal de salida de dicho píxel 101 a través del circuito de supresión de corriente oscura.

Cada píxel 101 comprende dos interconexiones conductoras 111a, 111b para acoplar el dispositivo activo 110 de dicho píxel al elemento fotosensible 107 de dicho píxel. Las interconexiones conductoras 111a, 111b implementan, respectivamente, el contacto de fuente y el contacto de drenador del elemento fotosensible 107.

Las interconexiones conductoras 111a, 111b comprenden un contacto vertical 112a, 112b (por ejemplo, una vía) que se extiende desde el nivel inferior 106 hasta el nivel superior 105 del circuito integrado tridimensional monolítico 104 y que tiene una primera sección 113a, 113b (en el presente ejemplo el extremo inferior de los contactos verticales 112a, 112b) conectado al dispositivo activo 110 de dicho píxel. Las primeras secciones 113a, 113b están dispuestas en la al menos una capa semiconductor de dicho dispositivo activo 110. Las interconexiones conductoras 111a, 111b también incluyen contactos laterales 114a, 114b para interconectarse adecuadamente con la capa de material bidimensional de la capa de transporte 109. Dichos contactos laterales 114a, 114b están dispuestos en el nivel superior 105 y conectados a una segunda sección 115a, 115b del contacto vertical (en este ejemplo, el extremo superior de los contactos verticales 112a, 112b). Los contactos laterales 114a, 114b se pueden depositar en la capa de aislamiento 119 por pulverización en vacío o por medio de cualquier otra técnica de deposición conocida, y se conectan óhmicamente a la capa de transporte 109 del elemento fotosensible 107 de dicho píxel por medio de una porción que se dispone directamente debajo y paralela a la capa de transporte 109 de dicho elemento fotosensible 107.

El circuito de lectura 102 comprende una pluralidad de pistas metálicas 116 que discurre paralelas a las columnas de píxeles 101 de una pluralidad de columnas. Cada pista metálica 116 está conectada al terminal de salida de los píxeles 101 de una columna dada. Como se puede observar en la figura 1b, las pistas metálicas 116 se proporcionan en la pila dieléctrica CMOS 117 comprendida en el nivel inferior 106. Cada pista metálica 116 está conectada al contacto vertical 112b de la interconexión conductiva 111b, que en este ejemplo particular es el terminal de salida del píxel 101.

Las Figuras 2a-2f proporcionan ejemplos adicionales de píxeles adecuados para el sensor de imagen 100, que muestran diferentes alternativas sobre cómo acoplar el dispositivo activo del píxel a la capa de transporte de su elemento fotosensible. Para simplificar, los elementos en común con la estructura de píxeles de la figura 1b se han etiquetado con los mismos números de referencia.

La configuración mostrada en la figura 2a es equivalente a la de la figura 1b, ya que las interconexiones conductivas 200 dispuestas en ambos extremos del elemento fotosensible 107 comprenden un contacto vertical 201 que se extiende desde el nivel inferior hasta el nivel superior del circuito integrado tridimensional monolítico y que tiene un primer extremo 202 dispuesto en la al menos una capa semiconductor del dispositivo activo 110 y conectado a dicho dispositivo activo 110. Las interconexiones conductivas 200 comprenden además un contacto lateral 204 dispuesto en el nivel superior y conectado a un segundo extremo 203 del contacto vertical 201. Los contactos laterales 204 están conectados óhmicamente a la capa de transporte 109 del elemento fotosensible 107 del píxel y comprenden una porción 205 dispuesta directamente debajo y paralela a la capa de transporte 109 del elemento fotosensible 107.

La Figura 2b representa un ejemplo alternativo en el que dos interconexiones conductivas 210 comprenden contactos laterales 214 conectados al segundo extremo 203 de los contactos verticales 201, y que son coplanares a la capa de transporte 109 y, por ende, conectados óhmicamente a los lados de la capa de transporte 109. En la figura 2c se ilustra el caso en el que dos interconexiones conductivas 220 tienen contactos laterales 224 conectados óhmicamente a la capa de transporte 109 del elemento fotosensible 107 y comprenden una porción 225 dispuesta directamente encima y paralela a la capa de transporte 109.

La Figura 2d proporciona una variación al ejemplo de la figura 2c, en la que las interconexiones conductivas 230 comprenden un contacto lateral 234 conectado a un extremo superior de los contactos verticales 201. Como en el caso de la figura 2c, los contactos laterales 234 comprenden una porción 235 dispuesta por encima y paralela a la capa de transporte 109. Sin embargo, la porción 235 se dispone ahora a una distancia de la capa de transporte 109. Para establecer contacto óhmico con la capa de transporte 109, los contactos laterales 234 comprenden además una porción vertical adicional 236 que conecta la porción paralela 235 con la capa de transporte 109.

Un ejemplo adicional se ilustra en la figura 2e, en la que un píxel comprende dos interconexiones conductivas 240 dispuestas en los extremos de su elemento fotosensible 107. Cada interconexión conductiva 240 comprende un contacto vertical 241 que se extiende desde el nivel inferior 106 hasta el nivel superior 105 del circuito integrado tridimensional monolítico 104. El contacto vertical 241 tiene una primera sección 242 (es decir, extremo inferior del contacto vertical 241) dispuesta en la al menos una capa semiconductor del dispositivo activo 110 del píxel y conectada a dicho dispositivo activo 110, y una segunda sección 243 (es decir, extremo superior del contacto vertical 241) conectada óhmicamente a la capa de transporte 109 del elemento fotosensible 107. Es decir, en este ejemplo las interconexiones conductivas 241 se encuentran por debajo de la capa de transporte 109.

También se puede observar en la figura 2e que los contactos verticales 241 de las interconexiones conductivas 240 tienen diferentes dimensiones transversales. Sin embargo, en otros ejemplos podrían tener las mismas dimensiones transversales.

La Figura 2f muestra una ligera variación con respecto al ejemplo de la figura 2e. Cada una de las dos interconexiones conductivas 250 comprende un contacto vertical 251 que está intersecado por la capa de transporte 109 del elemento fotosensible 107. Es decir, en este ejemplo, la segunda sección 253 del contacto vertical 251 se proporciona en un punto intermedio en lugar de en el extremo superior del contacto vertical 251.

Alternativamente a la disposición mostrada en la figura 1b, los elementos fotosensibles de una fila de píxeles pueden compartir un contacto de fuente común (véase la figura 2g), de modo que cada elemento fotosensible se define en el área entre un contacto de drenador diferente (implementado por cada interconexión conductiva 260) y el contacto de fuente común (implementado por la interconexión conductiva 261). De esta manera, se reduce en gran medida el número total de interconexiones conductivas necesarias para la matriz bidimensional de píxeles.

La geometría de los elementos fotosensibles se puede definir mediante la disposición siguiendo un patrón 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 (tales como, por ejemplo, pero de manera no limitativa, ruido, responsividad y resistencia).

Refiriéndose ahora a la figura 3, se muestra una vista en sección transversal de un píxel adecuado para un sensor de

imagen según la presente invención. En particular, el píxel 300 comprende un elemento fotosensible 301 dispuesto en el nivel superior de un circuito integrado tridimensional monolítico 302. El elemento fotosensible 301 comprende una capa fotosensibilizante 303 asociada a una capa de transporte 304, que se dispone debajo de la capa fotosensibilizante 303 e incluye una capa de un material bidimensional. En un nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico 5 302 hay una pluralidad de capas que incluyen un sustrato semiconductor 305 y una pila dieléctrica 306.

El nivel superior comprende además una primera capa aislante 307 y una segunda capa aislante 308 que comprende un óxido y está asociada al elemento fotosensible 301. Específicamente, la primera capa aislante 307 se dispone por encima de la capa fotosensibilizante 303, mientras que la segunda capa aislante 308 se dispone por debajo de la capa 10 de transporte 303 y aísla el elemento fotosensible 301 de la pila dieléctrica 306 de dicho nivel inferior.

El píxel comprende dos interconexiones conductivas 309a, 309b en los extremos opuestos de la capa de transporte 304 que implementan, respectivamente, los contactos de fuente y drenador del elemento fotosensible 301. Cuando el elemento fotosensible 301 se opera como un dispositivo de dos terminales, se aplica un voltaje de polarización 15 (generalmente una señal dependiente del tiempo) entre los contactos de fuente y drenador.

El píxel 300 también comprende un terminal de puerta trasera 310 dispuesto debajo del elemento fotosensible 301, entre la segunda capa aislante 308 y el nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico 302. El terminal de puerta trasera 310 está conectado a un contacto vertical 311 para hacerlo accesible a través del sustrato 20 semiconductor 305. Además, el píxel 300 incluye un terminal de puerta superior 312 hecho de un material transparente y dispuesto por encima del elemento fotosensible 301. La primera capa aislante 307 actúa como un espaciador que separa el terminal de puerta superior 312 de la capa fotosensibilizante 303.

Las Figuras 4a-c representan algunas configuraciones posibles para el circuito de supresión de corriente oscura 25 comprendido en el sensor de imagen 100, cuando se conecta circuitalmente al elemento fotosensible de un píxel dado.

El ejemplo de la figura 4a muestra un esquema equilibrado, en el que el circuito de supresión de corriente oscura 400 comprende un elemento de referencia 401 que tiene una conductancia oscura que coincide sustancialmente con la 30 conductancia oscura del elemento fotosensible 403 del píxel 402.

El elemento fotosensible 403 del píxel 402 está conectado circuitalmente entre el primer terminal intermedio 404a de dicho píxel y un primer terminal de polarización 405 proporcionado en dicho píxel y conectado circuitalmente al circuito de polarización 103. Además, el elemento de referencia 401 está conectado circuitalmente entre un segundo terminal intermedio 404b y un segundo terminal de polarización 406 conectado circuitalmente al circuito de polarización 103. 35 En este ejemplo, el circuito de polarización 103 está adaptado para proporcionar un voltaje de polarización equilibrado entre el primer terminal de polarización 405 y el segundo terminal de polarización 406.

En este ejemplo, la unidad de control está configurada para, cuando se va a leer el píxel 402, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio 404a y el segundo terminal intermedio 404b (que forman un mismo nodo) con el terminal 40 de salida del píxel 402. Debido al voltaje de polarización equilibrado aplicado, el voltaje diferencial en el nodo resultante formado por la conexión de los dos terminales intermedios 404a, 404b contiene directamente la fotoseñal de dicho píxel 402.

La Figura 4b es una variación del circuito de supresión de corriente oscura representado en la figura 4a que incluye 45 un circuito de desviación de corriente. Como en el ejemplo anterior, el circuito de supresión de corriente oscura 420 comprende un elemento de referencia 421 que tiene una conductancia oscura que coincide sustancialmente con la conductancia oscura del elemento fotosensible 423 de un píxel 422.

El elemento fotosensible 423 tiene un extremo conectado a un primer terminal intermedio 424a a través de un primer 50 transistor de desviación 427, y un extremo opuesto conectado a un primer terminal de polarización 425 conectado circuitalmente al circuito de polarización 103. De manera similar, el elemento de referencia 421 tiene un extremo conectado a un segundo terminal intermedio 424b a través de un segundo transistor de desviación 428, y un extremo opuesto conectado a un segundo terminal de polarización 426 conectado circuitalmente al circuito de polarización 103.

El circuito de polarización 103 está adaptado para proporcionar un voltaje de polarización equilibrado entre el primer terminal de polarización 425 y el segundo terminal de polarización 426. Además, la unidad de control está adaptada para proporcionar señales de control adecuadas a los primer y segundo transistores de desviación 427, 428 para 55 suprimir la corriente oscura generada por el elemento fotosensible 423.

En la figura 4c se representa esquemáticamente un circuito alternativo de supresión de corriente oscura. El circuito de 60 supresión de corriente oscura 440 comprende un cambiador de nivel 452 adaptado para sustraer un nivel de voltaje que es sustancialmente igual al nivel de voltaje generado por la corriente oscura del elemento fotosensible 443 del píxel 442 durante un ciclo de exposición. El cambiador de nivel 452 se coloca en cascada con un amplificador de transimpedancia 451, que se conecta en serie con el elemento fotosensible 443. En este caso, la unidad de control 65 está configurada para, cuando se va a leer el píxel 442, conectar el primer terminal intermedio 444 del elemento

fotosensible 443 con un nodo de entrada 453 del cambiador de nivel 452 a través del amplificador de transimpedancia 451 y el terminal de salida de dicho píxel con un nodo de salida 454 del cambiador de nivel 452.

5 En aquellos ejemplos en los que el circuito de supresión de corriente oscura comprende un elemento de referencia que puede conectarse circuitalmente al elemento fotosensible de un píxel, dicho elemento de referencia puede implementarse de diferentes maneras.

En algunos casos, tal como se ilustra en las figuras 5a y 5b, un elemento de referencia es una resistencia fija 501, o una resistencia variable 502, conectada circuitalmente a un elemento fotosensible 500.

10

En algunos otros casos (figura 5c), un elemento de referencia 503 está dispuesto en el nivel superior del circuito integrado tridimensional monolítico y comprende una capa de transporte que incluye una capa de un material bidimensional sin ninguna capa fotosensibilizante asociada a esta.

15 La Figura 5d muestra un ejemplo adicional en el que el elemento de referencia es estructuralmente equivalente a un elemento fotosensible. En particular, el elemento de referencia 504 comprende una capa de transporte asociada a una capa fotosensibilizante. El elemento de referencia 503 comprende además una primera capa de bloqueo de luz 505 dispuesta por encima de su capa fotosensibilizante. La primera capa de bloqueo de luz 505 es una capa de pasivación que comprende un óxido.

20

Aunque el ejemplo de la figura 5d comprende solo una capa de bloqueo de luz, el elemento de referencia 504 podría comprender adicionalmente una segunda capa de bloqueo de luz dispuesta debajo de su capa de transporte para evitar que la absorción de luz pase a través del sustrato del nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico en el que se dispone el elemento de referencia 504.

25

Cuando el elemento o elementos de referencia de un circuito de supresión de corriente oscura se disponen en el nivel superior de un circuito integrado tridimensional monolítico, en lugar de disponerse en la misma capa que los elementos fotosensibles de los píxeles, pueden disponerse ventajosamente debajo de los elementos fotosensibles, tal como se representa en la vista en sección transversal de un píxel de la figura 6.

30

Un píxel 600 comprende un elemento fotosensible 601 y un dispositivo activo 603 dispuesto, respectivamente, en el nivel superior 604 y el nivel inferior 605 de un circuito integrado tridimensional monolítico. El elemento fotosensible 601 comprende una capa fotosensibilizante 606 dispuesta sobre una capa de transporte 607 a la que se asocia. Se proporciona un terminal de puerta superior transparente 612 por encima de la capa de transporte 607 para ajustar finamente los parámetros eléctricos del elemento fotosensible 601.

35

El nivel inferior 605 comprende un sustrato 608 en el que se dispone una pila dieléctrica CMOS 609. El dispositivo activo 603 comprende al menos una capa de un material semiconductor integrada en la pila dieléctrica CMOS 609, que está acoplada al elemento fotosensible 601 por medio de dos interconexiones conductoras 610, 611 que entran en contacto con la capa de transporte 607 en dos extremos opuestos, implementando respectivamente los contactos de fuente y drenador del elemento fotosensible 601.

40

Se implementó un elemento de referencia 602 dentro del píxel 600, dispuesto en el nivel superior 604 entre la capa de transporte 607 del elemento fotosensible 601 y la pila dieléctrica CMOS 609. El elemento de referencia 602 comprende una segunda capa fotosensibilizante 613 intercalada entre una segunda capa de transporte 614 y una capa de bloqueo de luz 615, dispuestas respectivamente por debajo y por encima de la segunda capa fotosensibilizante 613. El acoplamiento del elemento de referencia 602 al dispositivo activo 603 se realiza por medio de una interconexión conductiva 616, que implementa el contacto de fuente para dicho elemento de referencia 602, e interconexión conductiva 611, que se comparte con el elemento fotosensible 601 e implementa el contacto de drenador para dicho elemento de referencia 602.

50

La estructura del píxel 600 se completa con una primera capa de aislamiento 617 para aislar el elemento fotosensible 601 del elemento de referencia 602, y una segunda capa de aislamiento 618 para aislar el elemento de referencia 602 de la pila dieléctrica CMOS 609.

55

El diseño del circuito de lectura de la unidad de control, y el del dispositivo activo de los píxeles del sensor de imagen, puede adoptar diferentes formas dependiendo de qué cantidad de procesamiento de la fotoseñal generada por el elemento fotosensible de los píxeles se lleve a cabo localmente a nivel de píxel.

60 La Figura 7a muestra un primer ejemplo de un sensor de imagen en el que un mismo elemento de referencia es compartido por varios píxeles. En particular, el sensor de imagen 700 comprende una pluralidad de píxeles 701 dispuestos como una matriz bidimensional con una cantidad de filas y columnas. El sensor de imagen 700 incluye un circuito de supresión de corriente oscura que comprende tantos elementos de referencia 702 como columnas haya en la matriz, de modo que cada elemento de referencia 702 se encuentra asociado a los píxeles 701 de una columna diferente. Además, cada elemento de referencia 702 está conectado circuitalmente a un segundo terminal intermedio

65

707.

Cada píxel 701 comprende un elemento fotosensible 710 conectado circuitalmente a un primer terminal intermedio 703 y un dispositivo activo que comprende: un primer interruptor 704 configurado para conectar selectivamente el primer terminal intermedio 703 de dicho píxel al segundo terminal intermedio 707 del elemento de referencia asociado a la columna de dicho píxel; y un segundo interruptor 705 configurado para conectar selectivamente el primer terminal intermedio 703 del píxel a su terminal de salida 706. Tras la lectura de un píxel 701 dado, los primer y segundo interruptores 704, 705 se cierran, conectando el elemento fotosensible 710 al elemento de referencia 702, de modo que el circuito de supresión de corriente oscura se encuentra dispuesto en el camino eléctrico entre el primer terminal intermedio 703 y el terminal de salida 706.

El sensor de imagen 700 también tiene una unidad de control que comprende un circuito de lectura con tantos amplificadores 708 como columnas haya, teniendo cada amplificador 708 un terminal de entrada conectado circuitalmente al terminal de salida 706 de los píxeles de una columna dada, y un elemento de almacenamiento 709 conectado en serie a un terminal de salida de cada amplificador 708, estando cada elemento de almacenamiento 709 configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en un píxel 701 de dicha columna dada.

Adicionalmente, la unidad de control incluye un circuito de interconexión 720 conectado operativamente al circuito de lectura y que comprende una pluralidad de nodos de salida 721. El circuito de interconexión 720 permite conectar circuitalmente, a través del circuito de lectura, el terminal de salida 706 de cualquiera de los píxeles 701 de la matriz con los nodos de salida 721. Además, conectada a cada nodo de salida 721, la unidad de control también comprende una disposición en cascada de una etapa de muestreo doble de correlación 722, seguida por una etapa posterior de amplificación 723 y por un convertor analógico a digital 724. De esta manera, las salidas del sensor de imagen 700 se pueden interconectar directamente con circuitería digital.

En la figura 7b se muestra un segundo ejemplo de un sensor de imagen similar en topología al que se acaba de describir en el contexto de la figura 7a, pero en el que el circuito de supresión de corriente oscura se ha movido a los píxeles, de modo que cada píxel comprende su propio elemento de referencia.

El sensor de imagen 725 comprende una disposición bidimensional de píxeles 726. Cada píxel 726 comprende un elemento fotosensible 727 conectado circuitalmente a un primer terminal intermedio 730, y un elemento de referencia 728 que tiene su segundo terminal intermedio 731 conectado permanentemente al primer terminal intermedio 730. Además, cada píxel 726 también comprende un dispositivo activo que incluye un interruptor de selección de fila 729 acoplado operativamente entre el primer terminal intermedio 730 y el terminal de salida 732 del píxel.

No es necesario describir adicionalmente el circuito de lectura, el circuito de interconexión y los bloques adicionales comprendidos en la unidad de control del sensor de imagen 725, ya que son similares a los comprendidos en el sensor de imagen 700 que ya se ha descrito en detalle anteriormente en el contexto de la figura 7a.

La Figura 7c muestra un tercer ejemplo de un sensor de imagen en el que, en comparación con el sensor de imagen 725 mostrado en la figura 7b, la mayoría de la electrónica del circuito de lectura se ha movido a los píxeles.

En particular, cada uno de los píxeles 751 del sensor de imagen 750 comprende un elemento fotosensible 752 y un elemento de referencia 753 conectado a este. El dispositivo activo comprendido en cada píxel 751 comprende, además:

- un amplificador 754 que tiene un terminal de entrada, conectado circuitalmente al primer terminal intermedio, y un terminal de salida; y
- un elemento de almacenamiento 755 conectado en serie al terminal de salida del amplificador 754, estando el elemento de almacenamiento 755 configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en el elemento fotosensible 752 del píxel; y
- un interruptor de selección de fila 756 conectado entre el elemento de almacenamiento 755 y un terminal de salida 757 del píxel, y configurado para conectar selectivamente dicho terminal de salida 757 al elemento de almacenamiento 755.

Dado que en este ejemplo el dispositivo activo del píxel 751 incluye más componentes electrónicos, es ventajoso explotar una vez más la tercera dimensión del circuito integrado tridimensional monolítico del sensor de imagen 750 y dividir la circuitería del dispositivo activo en dos capas diferentes de su nivel inferior, como se ilustra en la figura 8.

El elemento fotosensible 752 de un píxel 751 está dispuesto en el nivel superior del circuito integrado tridimensional monolítico 800. El dispositivo activo del píxel 751 está dispuesto en unas primera y segunda capas semiconductoras 801, 802 del nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico 800. La primera capa semiconductor 801 comprende el amplificador 754, mientras que el elemento de almacenamiento 755 y el interruptor de selección de fila 756 están comprendidos en la segunda capa semiconductor 802.

En la figura 7d se muestra un cuarto ejemplo de un sensor de imagen en el que el circuito de supresión de corriente oscura comprende cambiadores de nivel en lugar de elementos de referencia.

El sensor de imagen 775 comprende una disposición bidimensional de píxeles 776, donde cada uno comprende un elemento fotosensible 777 conectado circuitalmente entre un primer terminal intermedio 778 y un terminal de polarización 779. Un dispositivo activo incluido en cada píxel 776 comprende un primer interruptor 781 configurado para conectar selectivamente dicho primer terminal intermedio 778 a un terminal de salida 780 de dicho píxel, y un segundo interruptor 782 configurado para conectar selectivamente el terminal de polarización 779 a un circuito de polarización.

El circuito de supresión de corriente oscura del sensor de imagen 775 comprende tantos cambiadores de nivel 783 como columnas haya en la matriz, estando cada cambiador de nivel 783 asociado a los píxeles 776 de una columna diferente. Además, cada cambiador de nivel 783 está precedido por un amplificador de transimpedancia 784 que tiene un terminal de entrada conectado circuitalmente al terminal de salida de los píxeles 776 de una columna dada. Finalmente, el circuito de lectura del sensor de imagen 775 comprende un elemento de almacenamiento 785 conectado en serie al nodo de salida de cada cambiador de nivel 783.

Como en los ejemplos anteriores, el circuito de interconexión y los bloques adicionales comprendidos en la unidad de control del sensor de imagen 775 son similares a los comprendidos en el sensor de imagen 700 y ya descritos anteriormente en el contexto de la figura 7a.

Refiriéndose ahora a la figura 9, se muestra un ejemplo de un sensor de imagen capaz de respuesta multiespectral. El sensor de imagen 900 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 fotosensible con una capa fotosensibilizante sensible a un rango diferente del espectro. En este ejemplo particular, la capa fotosensibilizante de los elementos fotosensibles comprende puntos cuánticos, cuyo tamaño varía progresivamente para ajustar sus propiedades de absorción de luz a diferentes longitudes de onda.

En la figura 10 se representa el diagrama de bloques de un sistema optoelectrónico, en particular un sistema de cámara, que incorpora un sensor de imagen según la presente invención.

El sistema optoelectrónico 1000 comprende el sensor de imagen 100 descrito en las figuras 1a y 1b, que está interconectado operativamente con un módulo óptico que incluye una disposición de lente 1002. La disposición de lente 1002 se adapta para enfocar la luz entrante en la pluralidad de píxeles 101 del sensor de imagen 100. El sistema optoelectrónico 1000 también comprende un módulo de suministro de energía 1003 y un módulo de control 1004, ambos conectados operativamente a la unidad de control del sensor de imagen 100.

El módulo de suministro de energía 1003 está configurado para proporcionar un voltaje de polarización al sensor de imagen 100, mientras que el módulo de control 1004 está configurado para proporcionar señales de control 1012 a la unidad de control del sensor de imagen 100 para leer selectivamente los píxeles 101, y para recibir una pluralidad de valores detectados 1005 correspondientes a las fotoseñales leídas de la pluralidad de píxeles 101 por el circuito de lectura 102.

Como se puede observar en la figura, el módulo de control 1004 incluye un convertor análogo a digital 1006 para digitalizar los valores detectados 1005 antes de que se proporcionen a un circuito de control digital 1007 implementado en una FPGA.

El sistema optoelectrónico 1000 comprende además un módulo periférico 1008 conectado operativamente al módulo de control 1004 que incluye una pantalla 1009, una unidad de memoria 1010 y un microprocesador 1011. De esta manera, los valores detectados 1005 se pueden procesar, almacenar y/o proyectar como una imagen.

Finalmente, el sensor de imagen 100 descrito anteriormente en el contexto de las figuras 1a y 1b se puede fabricar como un circuito integrado tridimensional monolítico 104 por medio de un método que comprende las etapas de:

- a) proporcionar al menos una capa de material semiconductor en un sustrato 118, formando dicha al menos una capa de material semiconductor un nivel inferior 106 del circuito integrado tridimensional monolítico 104;
- b) para cada píxel 101 de la pluralidad de píxeles, disponer un dispositivo activo 110 en una ubicación seleccionada de la al menos una capa de material semiconductor de dicho nivel inferior 106, y proporcionar un terminal de salida 111b al píxel 101;
- c) disponer al menos una parte de la unidad de control en dicho nivel inferior 106 y conectar circuitalmente el terminal de salida 111b de cada píxel al circuito de lectura 102 de la unidad de control;
- d) proporcionar una capa de transporte 109 que incluye al menos una capa de un material bidimensional, y una capa fotosensibilizante 108 asociada a la capa de transporte 109, formando la capa de transporte y la capa fotosensibilizante un nivel superior 105 del circuito integrado tridimensional monolítico 104, estando dicho nivel superior dispuesto por encima de dicho nivel inferior;

- e) para cada píxel 101 de la pluralidad de píxeles, disponer, por ejemplo, mediante la disposición siguiendo un patrón y/o grabación, un elemento fotosensible 107 en una ubicación seleccionada de dicho nivel superior 105, y conectar circuitalmente el elemento fotosensible 107 a un primer terminal intermedio que se proporciona en dicho píxel;
- 5 f) acoplar operativamente el elemento fotosensible 107 de cada píxel al dispositivo activo 110 de dicho píxel; y
- g) proporcionar un circuito de supresión de corriente oscura configurado para suprimir sustancialmente la corriente oscura generada por el elemento fotosensible de los píxeles 101 durante un ciclo de exposición.

REIVINDICACIONES

1. Sensor de imagen (100, 700, 725, 750, 775, 900) que comprende una pluralidad de píxeles (101, 300, 402, 422, 442, 600, 701, 726, 751, 776) conectados operativamente a una unidad de control que incluye un circuito de lectura (102) para leer selectivamente las fotoseñales generadas por la luz que incide en la pluralidad de píxeles, donde el sensor de imagen comprende un circuito integrado tridimensional monolítico (104, 302, 800) que comprende un nivel superior (105, 604) que tiene una primera pluralidad de capas apiladas y un nivel inferior (106, 605) que tiene una segunda pluralidad de capas apiladas, estando el nivel inferior dispuesto debajo del nivel superior; donde cada píxel de la pluralidad de píxeles comprende:
- un elemento fotosensible (107, 301, 403, 423, 443, 500, 601, 710, 727, 752, 777) dispuesto en una ubicación seleccionada de dicho nivel superior;
 - un dispositivo activo (110, 603) dispuesto en una ubicación seleccionada de dicho nivel inferior, comprendiendo el dispositivo activo al menos una capa de un material semiconductor y estando acoplado operativamente al elemento fotosensible;
 - un primer terminal intermedio (404a, 424a, 444, 703, 730, 778) conectado circuitalmente a la capa de transporte del elemento fotosensible; y
 - un terminal de salida (706, 732, 757, 780) conectado circuitalmente al circuito de lectura (102);
- 20 **caracterizado porque,**
- el elemento fotosensible comprende una capa fotosensibilizante (108, 303, 606) asociada a una capa de transporte (109, 304, 607), incluyendo la capa de transporte al menos una capa de un material bidimensional, donde la capa fotosensibilizante y la capa de transporte están apiladas, y estando la capa fotosensibilizante (108, 303, 606) configurada para absorber la luz incidente de modo que un electrón o un hueco de un par electrón-hueco generado en la capa fotosensibilizante por la absorción de un fotón se puede transferir a la capa de transporte, mientras que el hueco o el electrón de dicho par electrón-hueco permanece atrapado en la capa fotosensibilizante, o en una interfaz entre la capa fotosensibilizante y la capa de transporte;
 - el sensor de imagen comprende además un circuito de supresión de corriente oscura (400, 420, 440) configurado para suprimir la corriente oscura generada por el elemento fotosensible de los píxeles durante un ciclo de exposición; y
 - la unidad de control está dispuesta, al menos parcialmente, en dicho nivel inferior (106, 605) y configurada para, cuando se va a leer un píxel dado, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio (404a, 424a, 444, 703, 730, 778) de dicho píxel:
- con el terminal de salida (780) de dicho píxel, estando dicho terminal de salida (780) conectado circuitalmente al circuito de lectura (102) a través de dicho circuito de supresión de corriente oscura (400, 420, 440) que comprende un cambiador de nivel (452, 783) y un amplificador (451, 784); o
 - con el terminal de salida (706, 732, 757) de dicho píxel y con dicho circuito de supresión de corriente oscura (400, 420, 440) que comprende al menos un elemento de referencia (401, 421, 501, 502, 503, 504, 602, 702, 728, 753) que tiene una conductancia oscura que coincide con la conductancia oscura del elemento fotosensible del píxel.
2. El sensor de imagen según la reivindicación 1, donde la unidad de control comprende un circuito de polarización (103) para polarizar la pluralidad de píxeles; donde el circuito de supresión de corriente oscura (400, 420) comprende el al menos un elemento de referencia (401, 421, 501, 502, 503, 504, 602, 702, 728, 753) que tiene una conductancia oscura que coincide con la conductancia oscura del elemento fotosensible (403, 423, 500, 601, 710, 727, 752) de los píxeles; donde el/cada elemento de referencia está conectado circuitalmente entre un segundo terminal intermedio (404b, 424b, 707, 731) y un segundo terminal de polarización (406, 426), estando el segundo terminal de polarización conectado circuitalmente al circuito de polarización (103); donde el elemento fotosensible de cada píxel está conectado circuitalmente entre el primer terminal intermedio (404a, 424a, 444, 703, 730) de dicho píxel y un primer terminal de polarización (405, 425) proporcionado en dicho píxel, estando el primer terminal de polarización de cada píxel conectado circuitalmente al circuito de polarización (103); donde el circuito de polarización (103) está adaptado para proporcionar un voltaje de polarización entre el primer terminal de polarización del elemento fotosensible de los píxeles de la pluralidad de píxeles y el segundo terminal de polarización del al menos un elemento de referencia; y donde la unidad de control está configurada para, cuando se va a leer un píxel dado, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio (404a, 424a, 444, 703, 730) de dicho píxel y el segundo terminal intermedio (404b, 424b, 707, 731) de un elemento de referencia de dicho al menos un elemento de referencia con el terminal de salida (706, 732, 757) de dicho píxel.
3. El sensor de imagen según la reivindicación 2, donde un elemento de referencia (503, 504, 602) del al menos un elemento de referencia está dispuesto en dicho nivel superior y comprende una capa de transporte (614) que incluye al menos una capa de un material bidimensional.

4. El sensor de imagen según la reivindicación 3, donde dicho elemento de referencia comprende además una capa fotosensibilizante (613) asociada a la capa de transporte (614) de dicho elemento de referencia (600).
5. El sensor de imagen según la reivindicación 4, donde dicho elemento de referencia (504, 602) comprende, además:
 5 una primera capa de bloqueo de luz (505, 615) dispuesta por encima de la capa fotosensibilizante (613) y la capa de transporte (614) de dicho elemento de referencia; y, preferentemente, una segunda capa de bloqueo de luz dispuesta debajo de la capa fotosensibilizante y la capa de transporte de dicho elemento de referencia.
6. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, donde dicho elemento de referencia (602) está
 10 dispuesto debajo del elemento fotosensible (601) de un píxel de la pluralidad de píxeles.
7. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, donde un elemento de referencia del al menos un elemento de referencia está dispuesto en dicho nivel inferior y comprende una resistencia variable (502).
- 15 8. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde el nivel superior (105, 604) comprende una o más capas aislantes (119, 307, 308, 617) asociadas al elemento fotosensible (107, 301, 601) de la pluralidad de píxeles; y donde preferentemente al menos un píxel (300, 600) de la pluralidad de píxeles comprende:
- un terminal de puerta trasera (310) dispuesto debajo del elemento fotosensible (301) de dicho al menos un píxel, entre una capa aislante (308) dispuesta debajo del elemento fotosensible (301) de la pluralidad de píxeles y el nivel inferior del circuito integrado tridimensional monolítico; y/o
 - un terminal de puerta superior (312, 612) dispuesto por encima del elemento fotosensible (301, 601) de dicho al menos un píxel.
- 20
- 25 9. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde al menos un píxel de la pluralidad de píxeles comprende una interconexión conductiva (200, 210, 220, 230) para acoplar el dispositivo activo (110) de dicho píxel al elemento fotosensible (107) de dicho píxel, comprendiendo la interconexión conductiva:
- un contacto vertical (201) que se extiende desde el nivel inferior hasta el nivel superior del circuito integrado tridimensional monolítico (104) y que tiene una primera sección (202) conectada al dispositivo activo (110) de dicho píxel, estando dicha primera sección dispuesta en la al menos una capa semiconductor de dicho dispositivo activo;
 - y
 - un contacto lateral (204, 214, 224, 234) dispuesto en dicho nivel superior y conectado a una segunda sección (203) del contacto vertical;
- 30
- 35 donde el contacto lateral (204, 214, 224, 234) está conectado óhmicamente a la capa de transporte (109) del elemento fotosensible (107) de dicho píxel y comprende una porción (205, 225, 235) que es paralela a la capa de transporte (109) de dicho elemento fotosensible (107).
- 40 10. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde el dispositivo activo (110, 603) de cada píxel de la pluralidad de píxeles comprende un interruptor (704, 705, 729, 781, 782), un amplificador (754), un filtro, un digitalizador, un cambiador de nivel y/o un elemento de almacenamiento (755).
11. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, donde la pluralidad de píxeles se agrupa en
 45 grupos (s1 - s9), comprendiendo cada grupo uno o más píxeles; y donde la capa fotosensibilizante del elemento fotosensible del uno o más píxeles de cada grupo es sensible a un intervalo diferente del espectro.
12. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, donde, para al menos un píxel (701, 726, 751, 776) de la pluralidad de píxeles, el dispositivo activo de dicho al menos un píxel está acoplado operativamente al
 50 primer terminal intermedio (703, 730, 778) del elemento fotosensible de dicho al menos un píxel.
13. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 12, donde la pluralidad de píxeles están dispuestos como una matriz bidimensional que comprende una pluralidad de filas y columnas; donde el circuito de supresión de corriente oscura comprende tantos elementos de referencia (702) como columnas haya en la matriz,
 55 estando cada elemento de referencia asociado a los píxeles (701) de una columna diferente; donde el dispositivo activo de cada píxel comprende un primer interruptor (704) configurado para conectar selectivamente el primer terminal intermedio (703) del píxel al segundo terminal intermedio (707) del elemento de referencia asociado a la columna de dicho píxel, y un segundo interruptor (705) configurado para conectar selectivamente el primer terminal intermedio (703) del píxel a su terminal de salida (706); y donde el circuito de lectura comprende:
- tantos amplificadores (708) como columnas haya, teniendo cada amplificador un terminal de entrada, conectado circuitalmente al terminal de salida de los píxeles (701) de una columna dada; y
 - un elemento de almacenamiento (709) conectado en serie a un terminal de salida de cada amplificador (708), estando cada elemento de almacenamiento configurado para almacenar un voltaje proporcional a la fotoseñal generada en un píxel (701) de dicha columna dada.
- 60
- 65

14. El sensor de imagen según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 12, donde la pluralidad de píxeles están dispuestos como una matriz bidimensional que comprende una pluralidad de filas y columnas; donde el circuito supresor de corriente oscura comprende un elemento de referencia (728, 753) dispuesto en cada píxel (726, 751) de la pluralidad de píxeles, teniendo cada elemento de referencia (728, 753) su segundo terminal intermedio (731) conectado al primer terminal intermedio (730) del píxel; y donde el dispositivo activo de cada píxel comprende un interruptor de selección de fila (729, 756) conectado a su terminal de salida (732, 757).

15. Sistema optoelectrónico (1000) que comprende:

- un sensor de imagen (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14;
- un módulo óptico (1002) interconectado operativamente con el sensor de imagen (100), estando el módulo óptico (1002) adaptado para enfocar la luz entrante en la pluralidad de píxeles;
- un módulo de suministro de energía (1003) conectado operativamente a la unidad de control del sensor de imagen (100), estando el módulo de suministro de energía (1003) configurado para proporcionar un voltaje de polarización al sensor de imagen (100);
- un módulo de control analógico y/o digital (1004) conectado operativamente a la unidad de control del sensor de imagen (100), estando el módulo de control analógico y/o digital (1004) configurado para proporcionar señales de control (1012) a la unidad de control para leer selectivamente los píxeles y para recibir una pluralidad de valores detectados (1005) correspondientes a las fotoseñales leídas de la pluralidad de píxeles por el circuito de lectura; y
- un módulo periférico (1008) conectado operativamente al módulo de control analógico y/o digital (1004), estando el módulo periférico (1008) configurado para procesar, almacenar y/o representar gráficamente una imagen obtenida de la pluralidad de valores detectados (1005).

16. Método de fabricación de un sensor de imagen (100, 700, 725, 750, 775, 900) como un circuito integrado tridimensional monolítico (104, 302, 800), donde el sensor de imagen comprende una pluralidad de píxeles (101, 300, 402, 422, 442, 600, 701, 726, 751, 776) conectados operativamente a una unidad de control que incluye un circuito de lectura (102) para leer selectivamente las fotoseñales generadas por la luz que incide en la pluralidad de píxeles, comprendiendo el método las etapas de:

- a) proporcionar al menos una capa de material semiconductor en un sustrato, formando dicha al menos una capa de material semiconductor un nivel inferior (106, 605) del circuito integrado tridimensional monolítico (104, 302, 800);
- b) para cada píxel de la pluralidad de píxeles, disponer un dispositivo activo (110, 603) en una ubicación seleccionada de la al menos una capa de material semiconductor de dicho nivel inferior (106, 605), y proporcionar un terminal de salida (706, 732, 757, 780) al píxel;
- c) disponer al menos una parte de la unidad de control en dicho nivel inferior (106, 605) y conectar circuitalmente el terminal de salida (706, 732, 757, 780) de cada píxel al circuito de lectura (102) de la unidad de control;
- d) proporcionar una capa de transporte (109, 304, 607) que incluye al menos una capa de un material bidimensional, y una capa fotosensibilizante (108, 303, 606) asociada a la capa de transporte, donde la capa fotosensibilizante y la capa de transporte están apiladas, y estando la capa fotosensibilizante (108, 303, 606) configurada para absorber la luz incidente de modo que un electrón o un hueco de un par electrón-hueco generado en la capa fotosensibilizante por la absorción de un fotón pueda transferirse a la capa de transporte, mientras que el hueco o el electrón de dicho par electrón-hueco permanece atrapado en la capa fotosensibilizante, o en una interfaz entre la capa fotosensibilizante y la capa de transporte, formando la capa de transporte y la capa fotosensibilizante un nivel superior (105, 604) del circuito integrado tridimensional monolítico (104, 302, 800), estando dicho nivel superior dispuesto por encima de dicho nivel inferior;
- e) para cada píxel de la pluralidad de píxeles, disponer un elemento fotosensible (107, 301, 403, 423, 443, 500, 601, 710, 727, 752, 777) en una ubicación seleccionada de dicho nivel superior (105, 604), y conectar circuitalmente la capa de transporte del elemento fotosensible a un primer terminal intermedio (404a, 424a, 444, 703, 730, 778) que se proporciona en dicho píxel;
- f) acoplar operativamente el elemento fotosensible (107, 301, 403, 423, 443, 500, 601, 710, 727, 752, 777) de cada píxel al dispositivo activo (110, 603) de dicho píxel; y
- g) proporcionar un circuito de supresión de corriente oscura (400, 420, 440) configurado para suprimir la corriente oscura generada por el elemento fotosensible de los píxeles durante un ciclo de exposición;

donde la unidad de control está configurada para, cuando se va a leer un píxel dado, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio (404a, 424a, 444, 703, 730, 778) de dicho píxel:

- con el terminal de salida (780) de dicho píxel, estando dicho terminal de salida (780) conectado circuitalmente al circuito de lectura (102) a través de dicho circuito de supresión de corriente oscura (400, 420, 440) que comprende un cambiador de nivel (452, 783) y un amplificador (451, 784); o
- con el terminal de salida (706, 732, 757) de dicho píxel y con dicho circuito de supresión de corriente oscura (400, 420, 440) que comprende al menos un elemento de referencia (401, 421, 501, 502, 503, 504, 602, 702, 728, 753) que tiene una conductancia oscura que coincide con la conductancia oscura del elemento fotosensible del píxel.

17. El método según la reivindicación 16, donde la unidad de control incluye además un circuito de polarización (103) para polarizar la pluralidad de píxeles; donde el circuito de supresión de corriente oscura (400, 420) comprende el al menos un elemento de referencia (401, 421, 501, 502, 503, 504, 602, 702, 728, 753) que tiene una conductancia oscura que coincide con la conductancia oscura del elemento fotosensible (403, 423, 500, 601, 710, 727, 752) de los píxeles; donde el método comprende además las etapas de:

- 10 - para cada píxel de la pluralidad de píxeles, conectar circuitalmente el elemento fotosensible entre el primer terminal intermedio (404a, 424a, 444, 703, 730) y un primer terminal de polarización (405, 425) que se proporciona en dicho píxel;
- conectar circuitalmente el/cada elemento de referencia entre un segundo terminal intermedio (404b, 424b, 707, 731) y un segundo terminal de polarización (406, 426) que se proporciona en el circuito integrado tridimensional monolítico (104, 302, 800);
- 15 - conectar circuitalmente el primer terminal de polarización (405, 425) de cada píxel de la pluralidad de píxeles y el segundo terminal de polarización (406, 426) del al menos un elemento de referencia al circuito de polarización (103); y

donde la unidad de control está configurada para, cuando se va a leer un píxel dado, conectar circuitalmente el primer terminal intermedio (404a, 424a, 444, 703, 730) de dicho píxel y el segundo terminal intermedio (404b, 424b, 707, 731) de un elemento de referencia de dicho al menos un elemento de referencia con el terminal de salida (706, 732, 757) de dicho píxel.

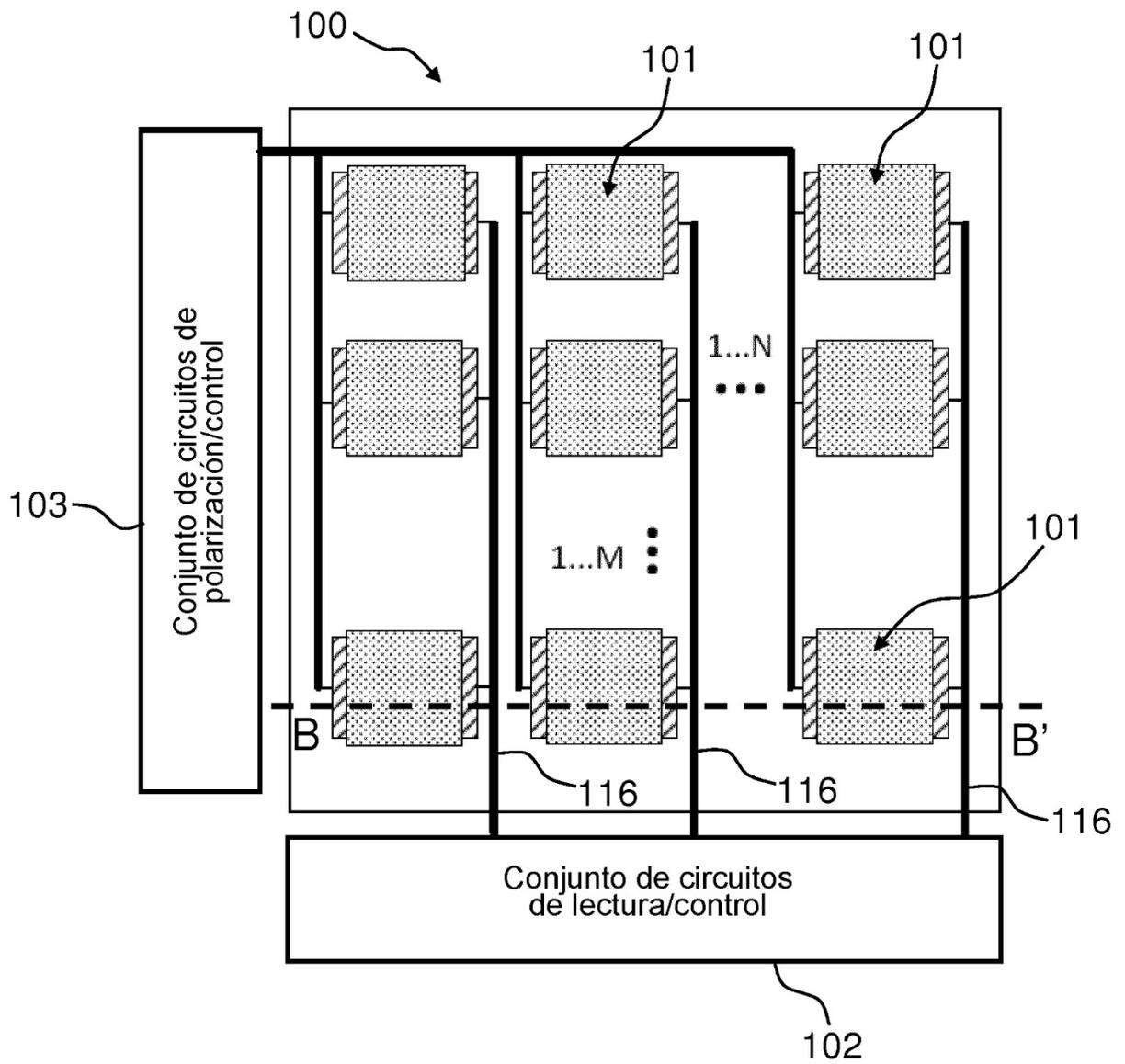


Fig. 1a

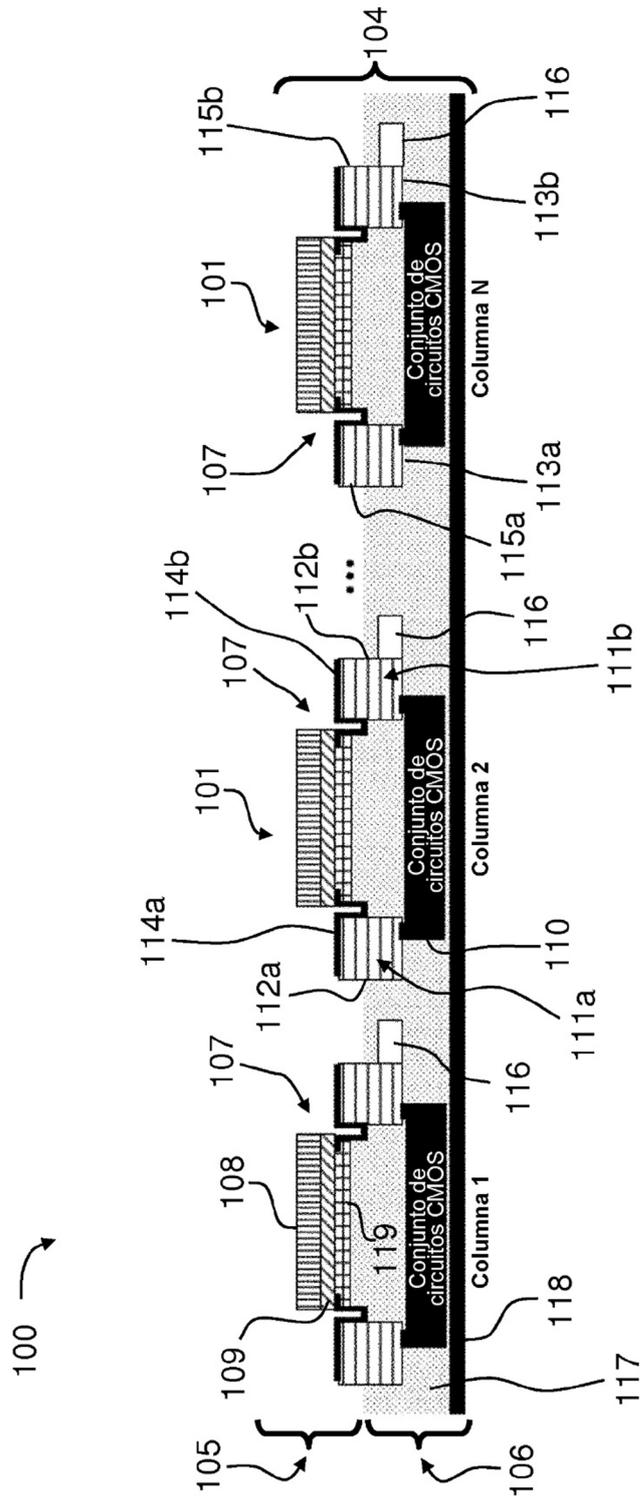


Fig. 1b

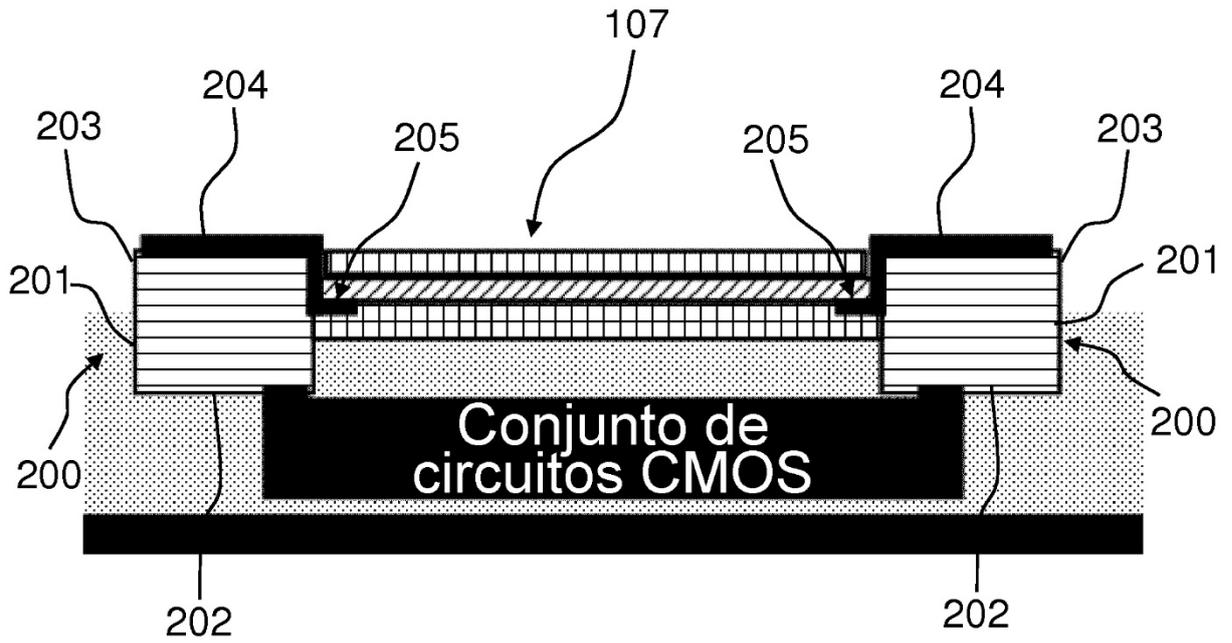


Fig. 2a

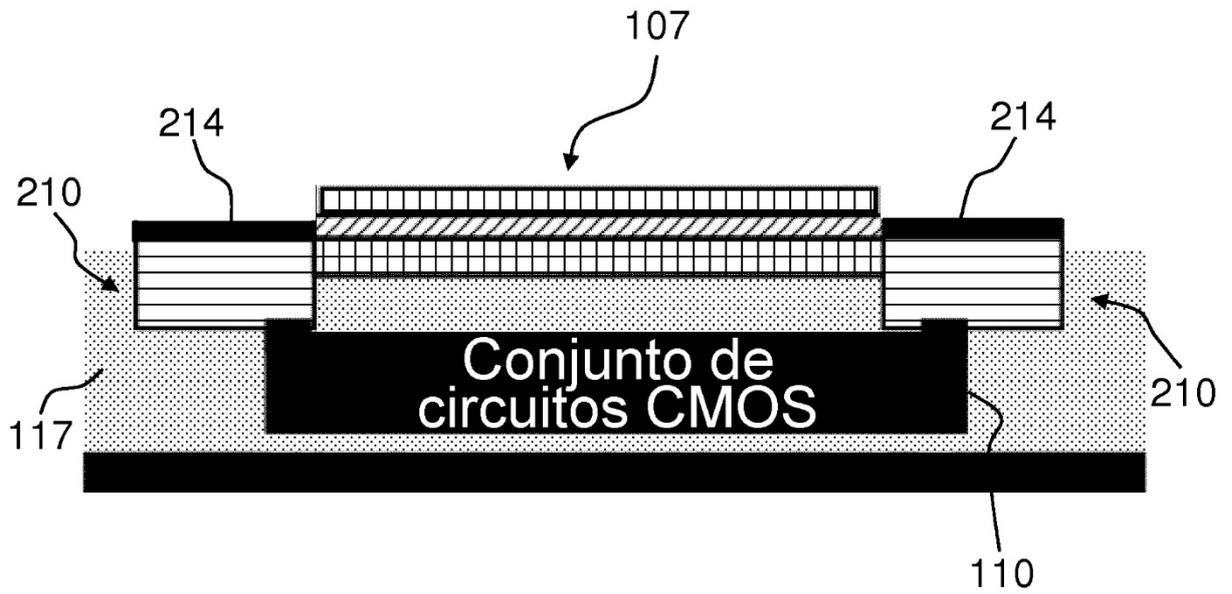


Fig. 2b

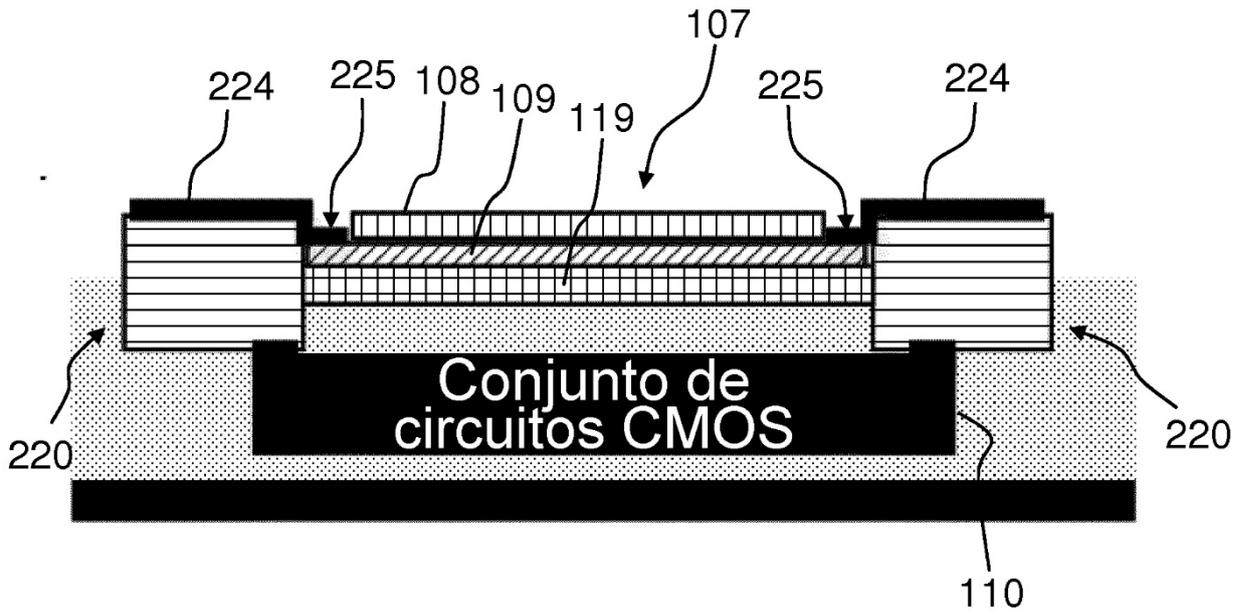


Fig. 2c

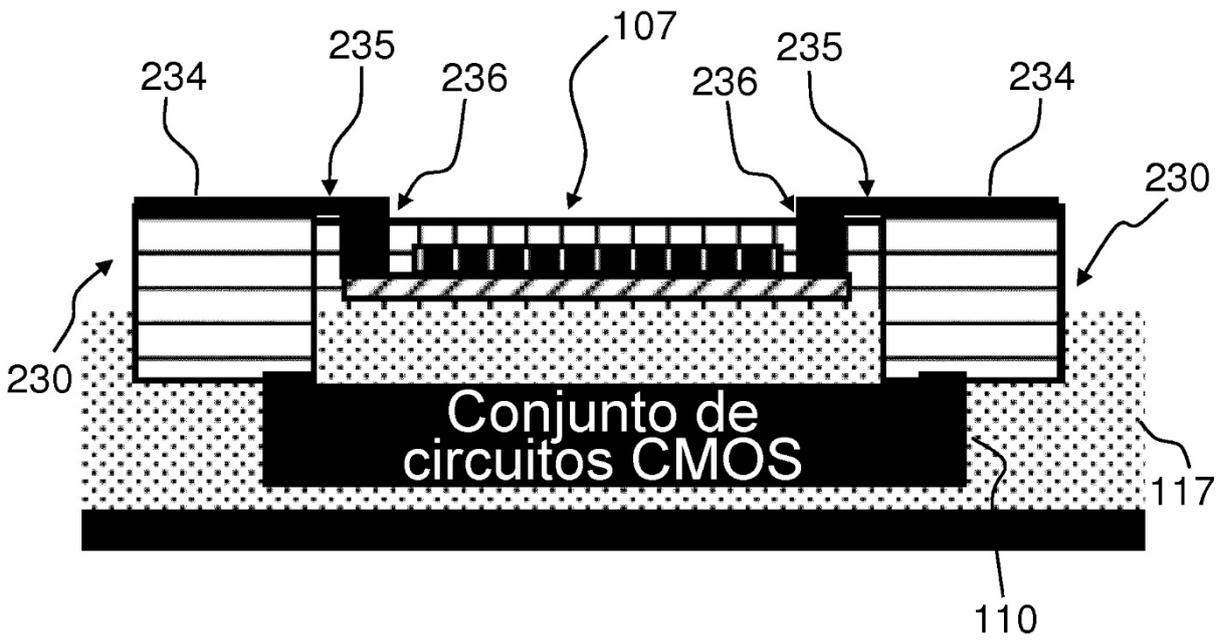


Fig. 2d

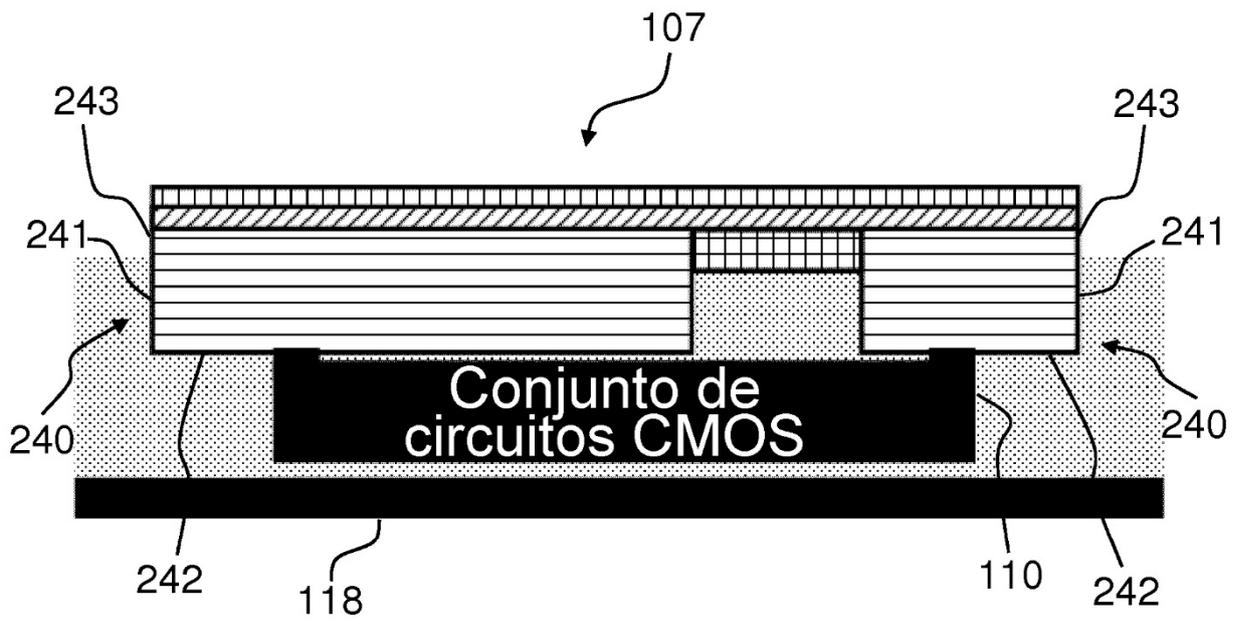


Fig. 2e

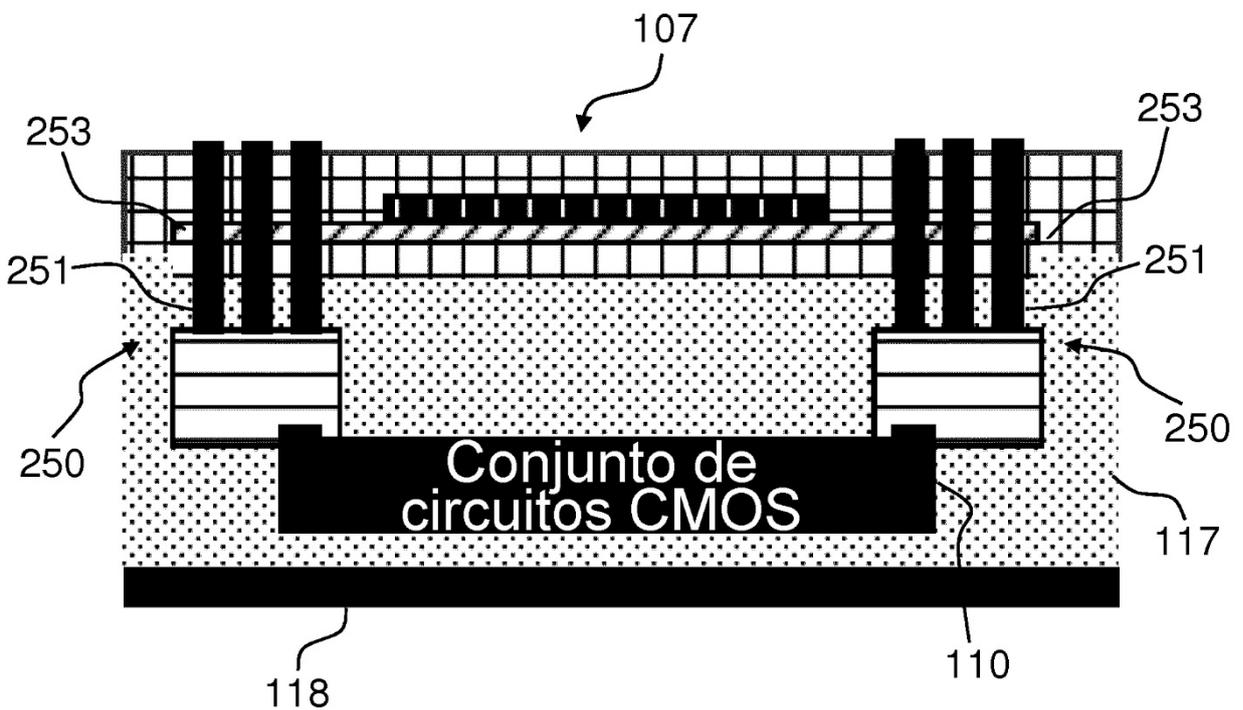


Fig. 2f

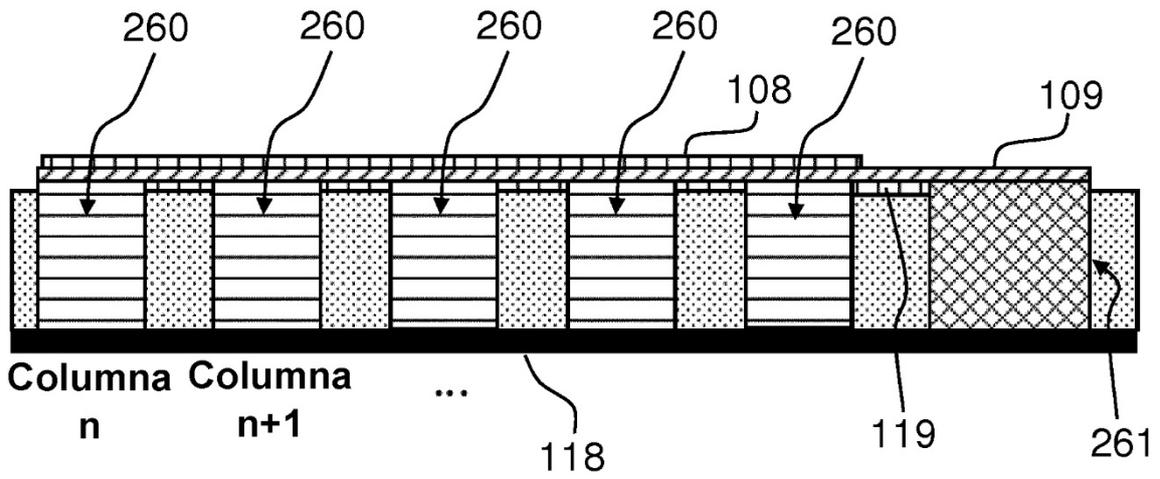


Fig. 2g

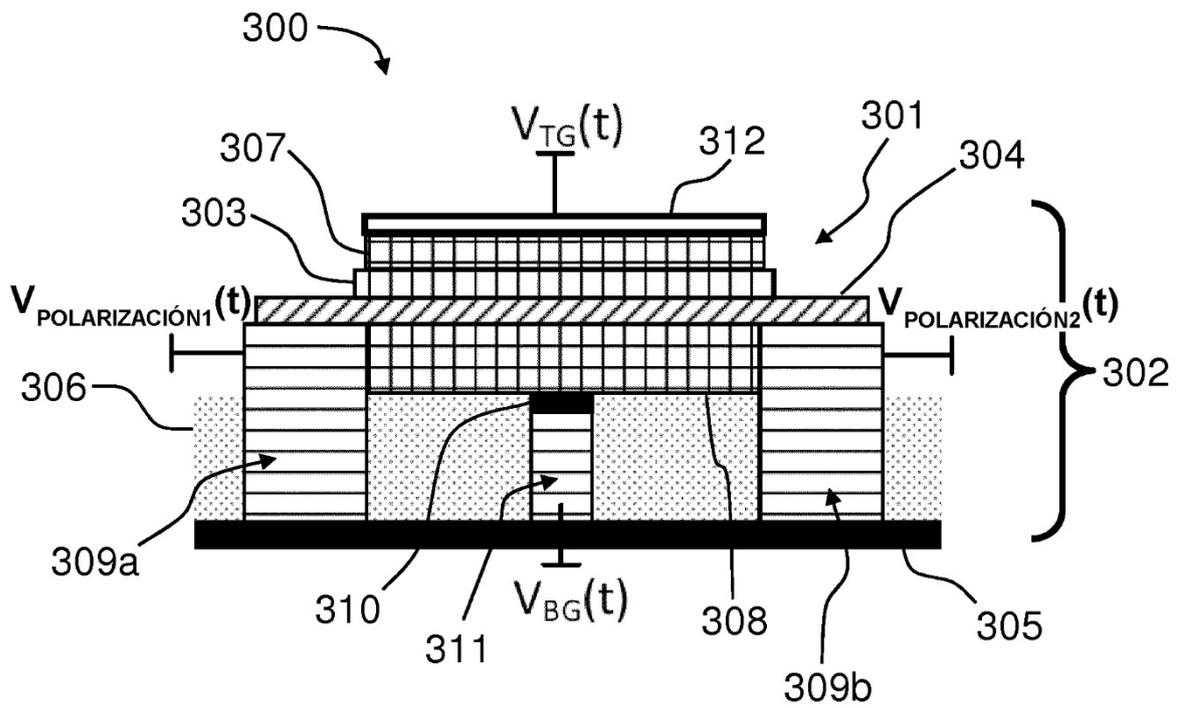


Fig. 3

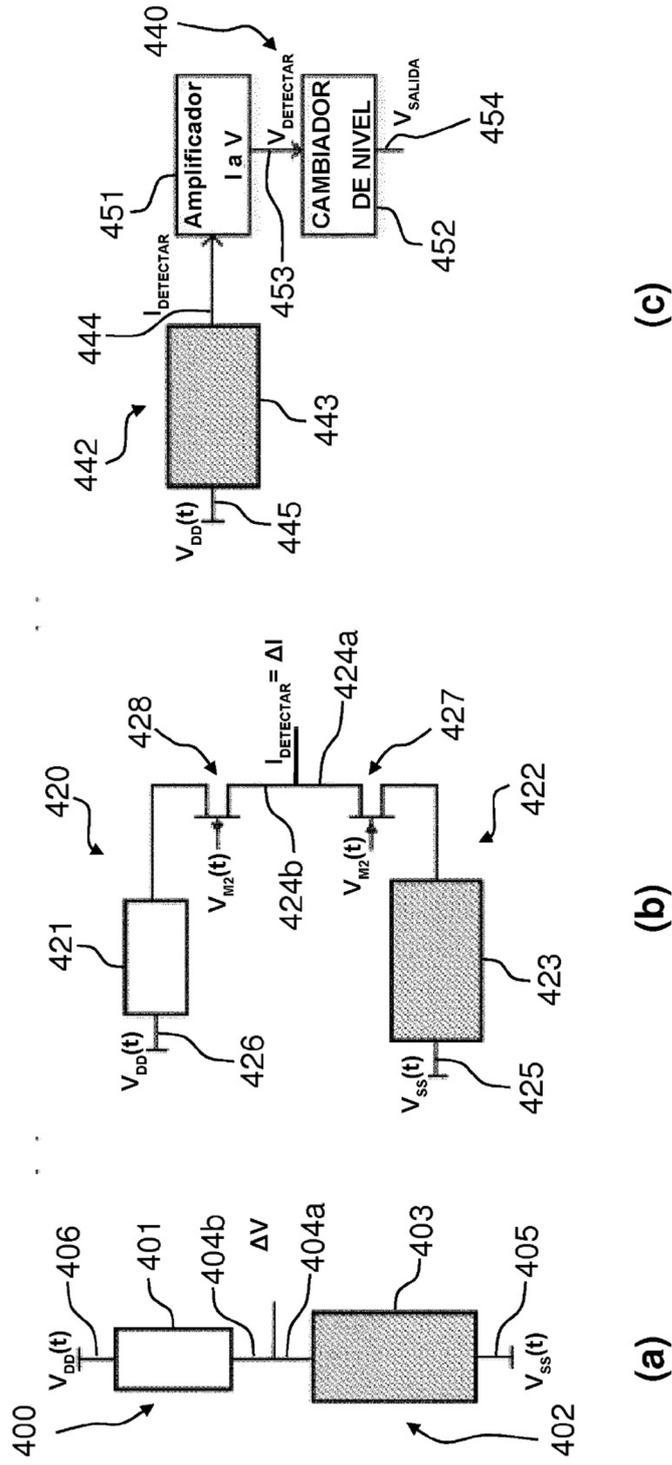


Fig. 4

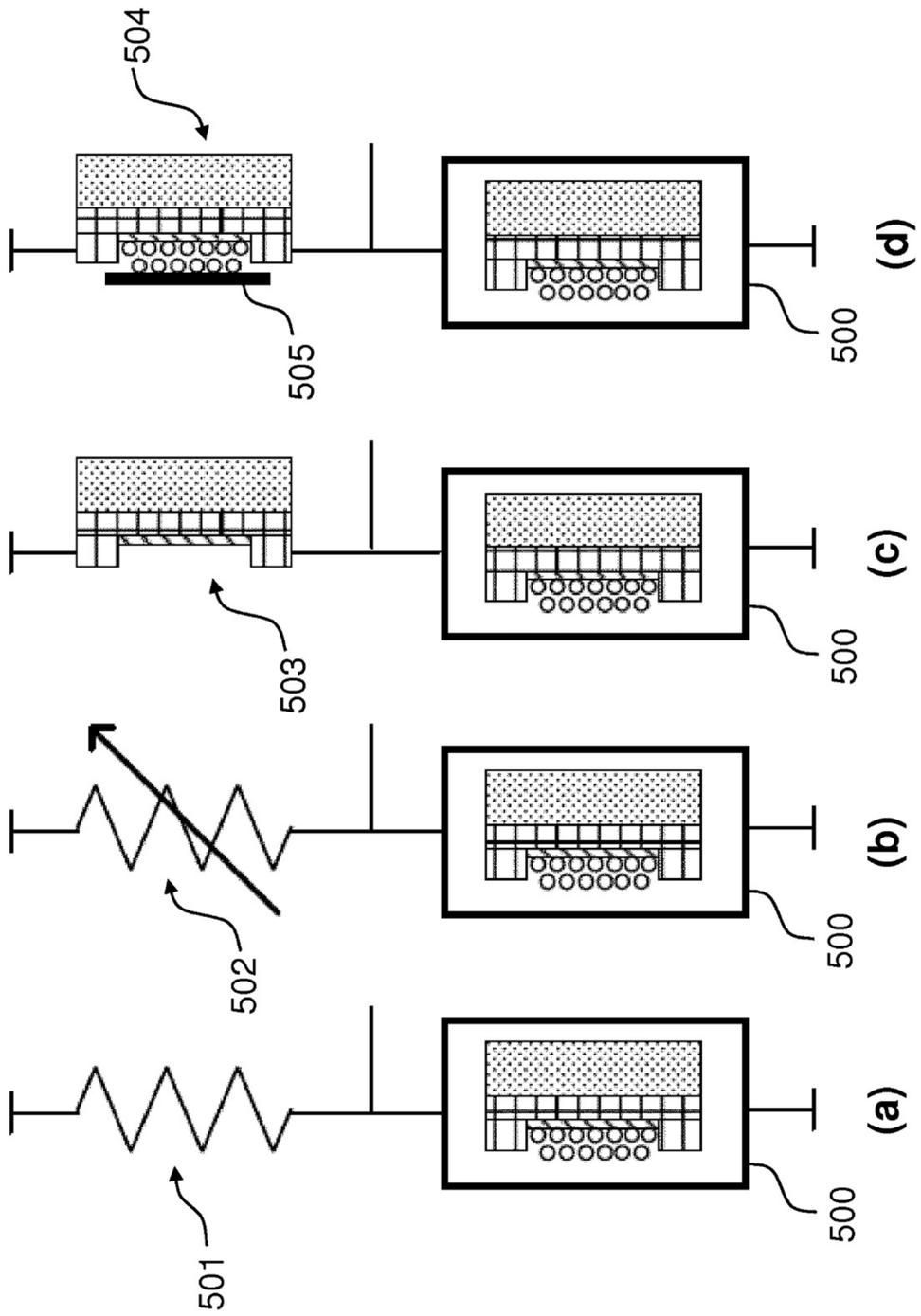


Fig. 5

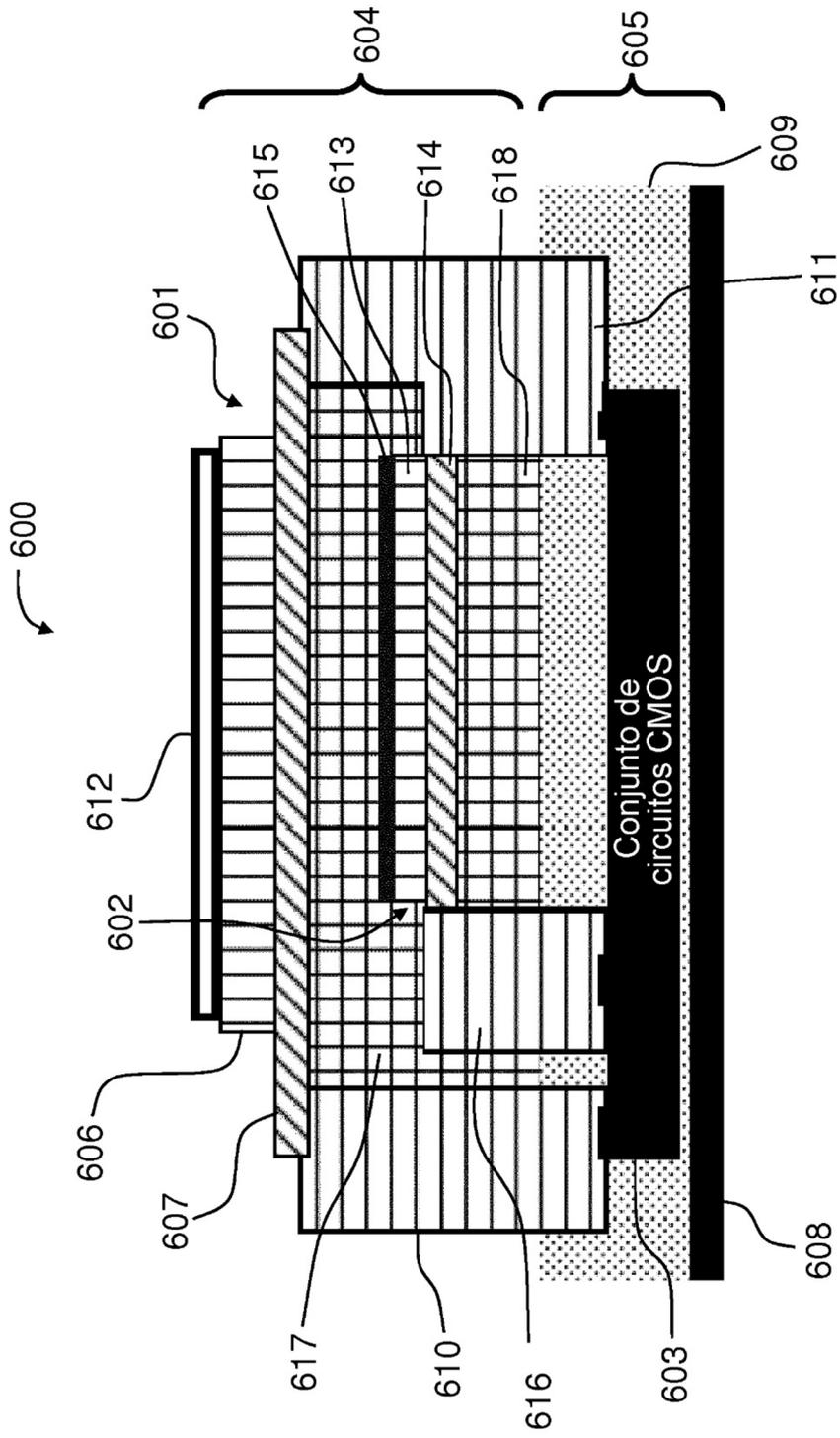


Fig. 6

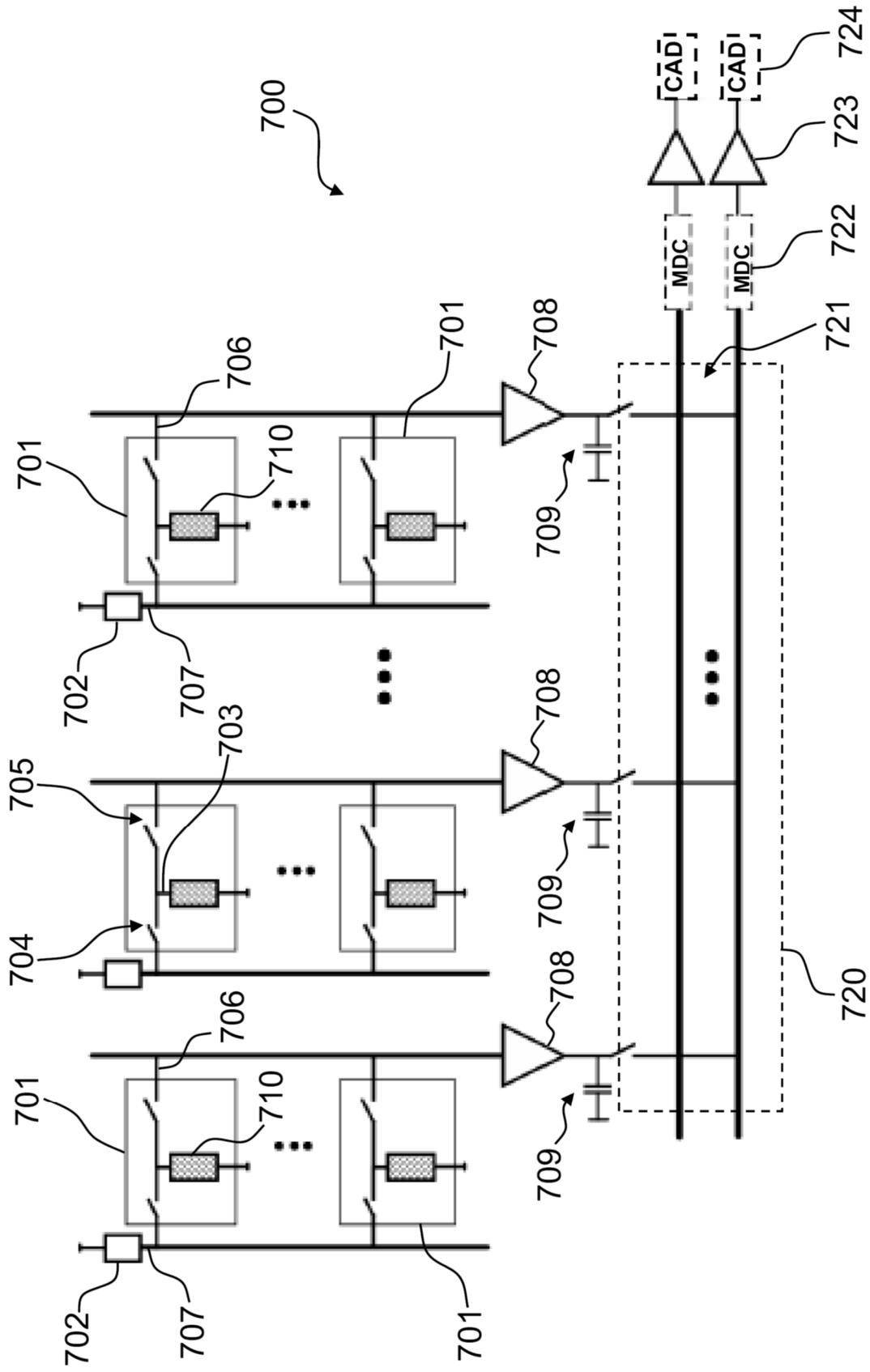


Fig. 7a

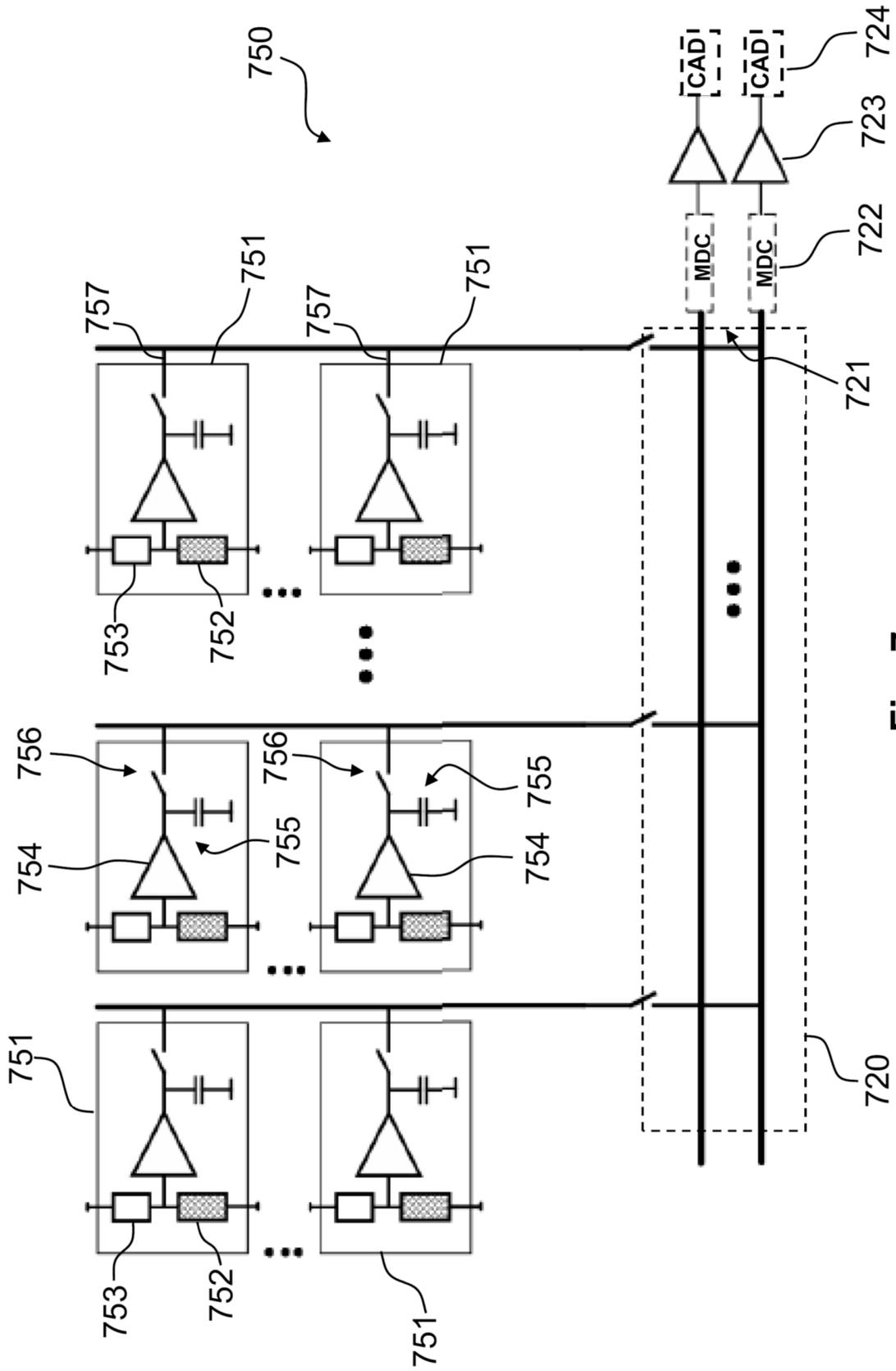


Fig. 7c

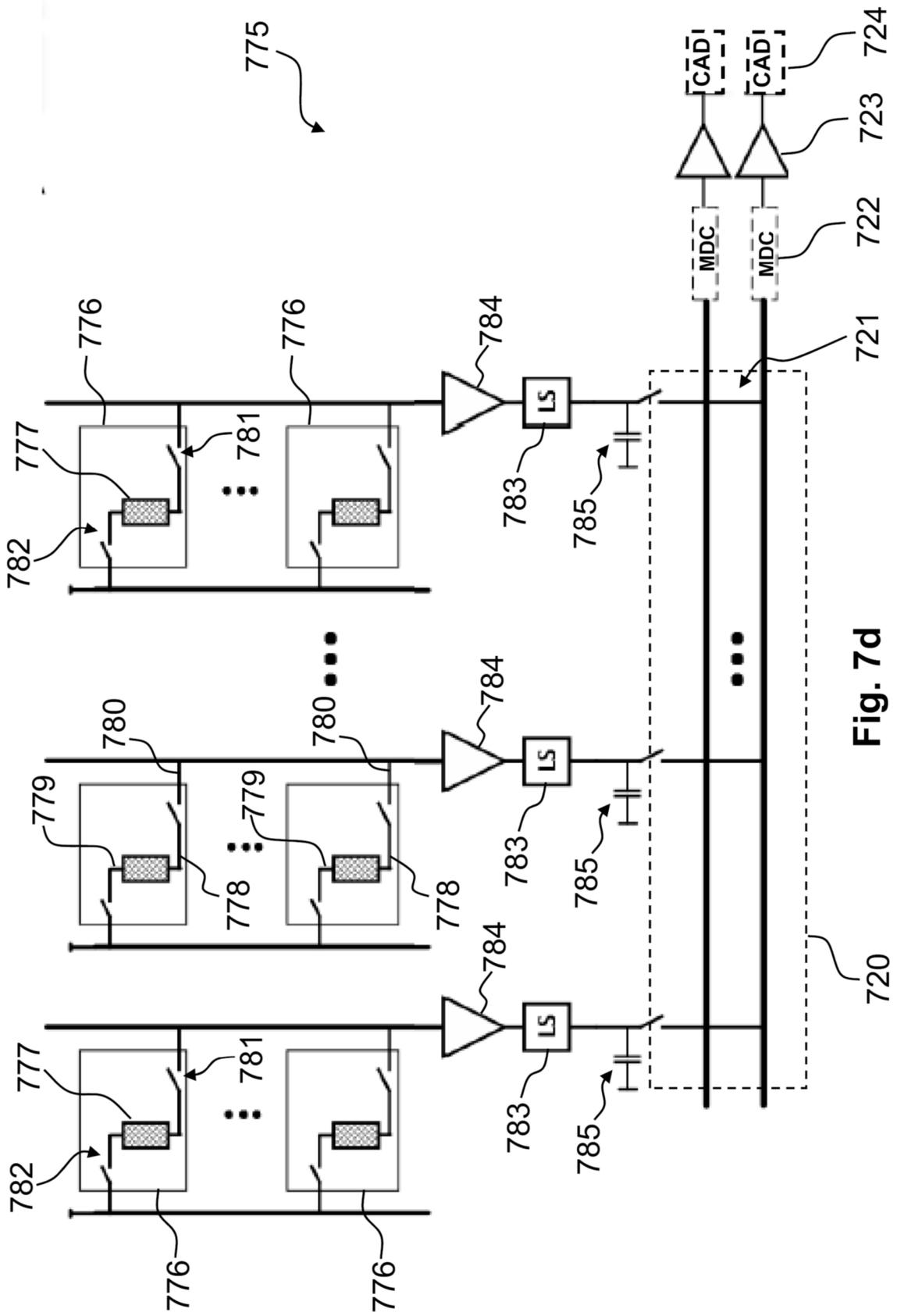


Fig. 7d

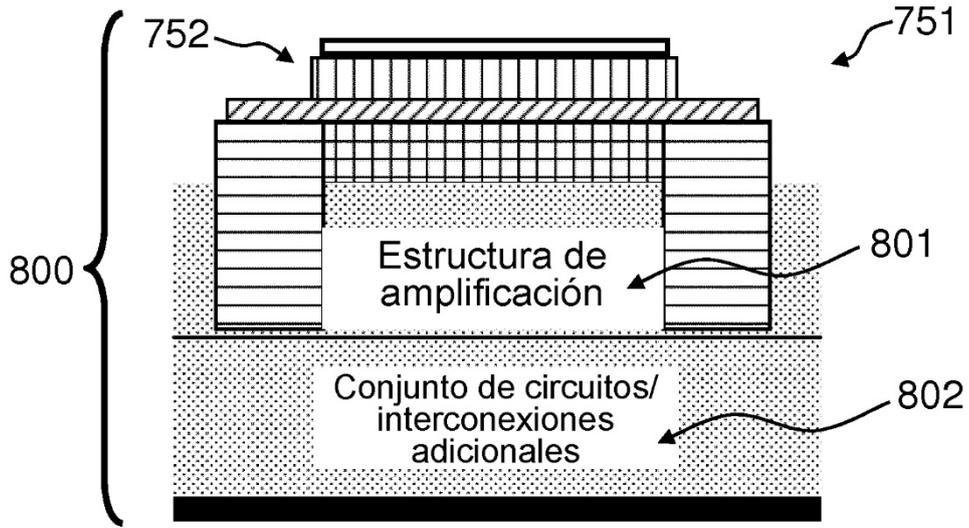


Fig. 8

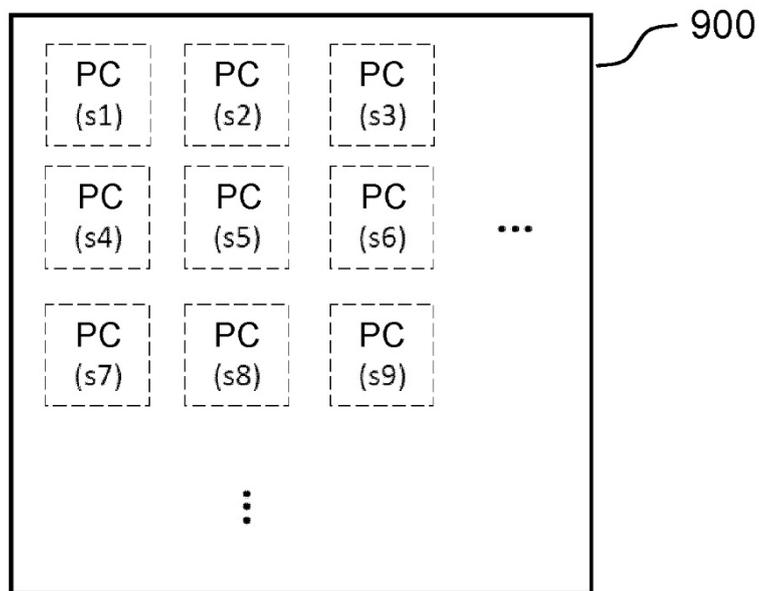


Fig. 9

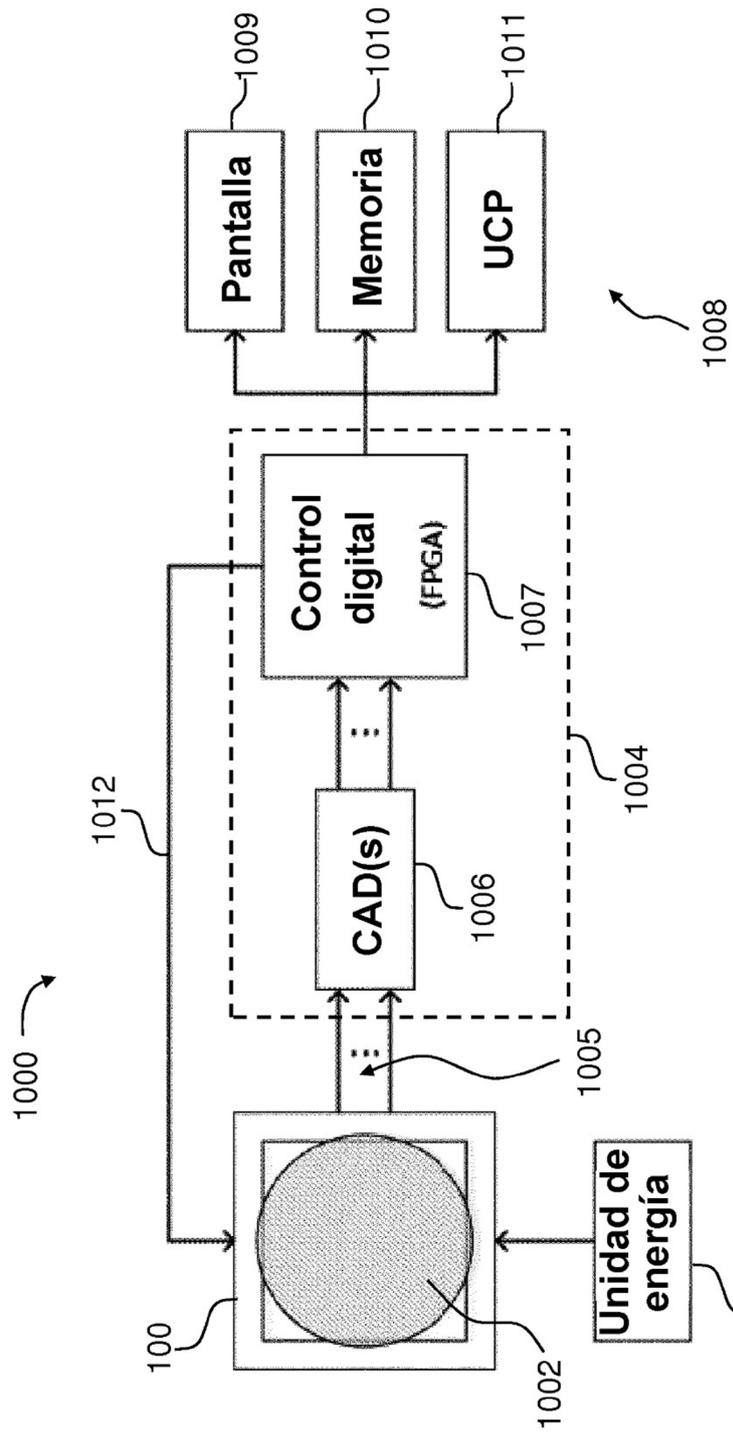


Fig. 10