

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 690**

51 Int. Cl.:

G01S 7/486 (2006.01)

H01L 27/146 (2006.01)

G01S 17/89 (2006.01)

G01S 17/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.08.2010** **E 10172810 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019** **EP 2290393**

54 Título: **Concepto para la medición óptica de la distancia**

30 Prioridad:

14.08.2009 DE 102009037596

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

20.02.2020

73 Titular/es:

**VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Berliner Ring 2
38440 Wolfsburg, DE**

72 Inventor/es:

**SPICKERMANN, ANDREAS;
BROCKHERDE, WERNER y
HOSTICKA, BEDRICH J.**

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Monica

ES 2 743 690 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

Concepto para la medición óptica de la distancia

5 La presente invención se refiere a un concepto para la medición óptica de la distancia tal como puede utilizarse, por ejemplo, en una captura de imágenes en tres dimensiones denominada ToF (*time of flight*, tiempo de vuelo).

10 Las aplicaciones en las cuales debe registrarse radiación óptica son muy variadas. Los sensores de imágenes y sistemas de cámaras asequibles CMOS (*complementary metal-oxide-semiconductor*, semiconductores complementarios de óxido de metal) nos acompañan continuamente en nuestra vida cotidiana. Especialmente en el sector de consumo las cámaras digitales y de teléfonos móviles se han convertido en un producto de masas y apenas puede prescindirse de ellos. Sin embargo, también en el sector de aplicaciones especiales las cámaras CMOS, asequibles en comparación con sensores de imágenes CCD- (CCD = *charge coupled device*, dispositivos de carga acoplada) de alta calidad, pero también mucho más caros, son cada vez más interesantes. Especialmente la realización de un fotodetector y un sistema electrónico de lectura transformados sobre un chip según el enfoque
15 denominado "*Camera-on-a-Chip*" (cámara en un chip) representa una gran ventaja del sistema de sensores de imágenes CMOS con respecto a la tecnología CCD.

20 Un campo especial del sistema de sensores de imágenes CMOS se ocupa de la medición de la distancia sin contacto, que se basa en el principio denominado tiempo de vuelo (ToF). A este respecto se utiliza una iluminación activa en forma de radiación óptica pulsada o de modulación continua para determinar directa o indirectamente a través del tiempo de propagación de la radiación óptica reflejada una distancia del sensor con respecto a un objeto de medición. Según el campo de aplicación eventualmente se imponen altos requisitos de rendimiento para un sensor ToF de este tipo. Los sistemas de medición de distancia inteligentes en el automóvil deben funcionar, por ejemplo, con velocidades muy altas para poder proporcionar datos de medición en tiempo real. Al mismo tiempo, el sensor debe funcionar perfectamente también en caso de influencias del entorno muy variables como niebla, oscuridad, condiciones meteorológicas adversas o situaciones extremas de contraluz. Con sensores de imágenes CMOS de alto dinamismo y métodos de lectura eficientes para eliminar la luz de fondo pueden cumplirse estos requisitos.

30 Además de un uso como sensor de distancia en el automóvil hay otros campos de aplicación de sensores ToF, como por ejemplo sistemas de posicionamiento/ inspección o sistemas automotrices en tres dimensiones. A este respecto surgen campos de utilización en particular para monitorización del habitáculo del automóvil, control de airbag, sistemas de seguridad frente a robos, sistemas de detección de carriles, sistemas de sensor preventivos de colisiones, protección de peatones y asistentes de aparcamiento. Adicionalmente los sensores ToF pueden utilizarse para la medición topográfica, para sistemas de monitorización en el sector de la seguridad, para sistemas gráficos para la ingeniería médica, en la electrónica de entretenimiento (por ejemplo consolas de juego) o para la seguridad funcional de máquinas.

40 En los últimos años se han desarrollado diferentes métodos para la medición de la distancia o profundidad basados en ToF. La figura 1 muestra en una representación esquemática una estructura de una disposición 100 de medición, que sin embargo es idéntica para todos los sistemas ToF.

45 Una fuente 102 de radiación o de luz modulada ilumina a este respecto un objeto 104 de medición en el espacio con una intensidad $E_{\text{luz, fuente}}$ de iluminación. Después de una reflexión de un haz de luz o pulso de luz en el objeto 104 de medición, este incide tras recorrer un tramo $2d$ sobre un sensor 106 de imágenes CMOS. A este respecto d significa una distancia entre sistema de medición y objeto 104 de medición. La luz que incide en el sensor 106 de imágenes se compone por un lado de un porcentaje de luz reflejada $E_{\text{luz, fuente}, r}$, y por otro lado de una luz E_{amb} de fondo. Mediante una sincronización de fuente 102 de luz y sensor 106 de imágenes puede averiguarse un retraso T_d de propagación de la luz emitida, que según
50

$$d = \frac{c}{2} T_d \tag{1}$$

es directamente proporcional a la distancia d entre sensor 106 y objeto 104 de medición. En la ecuación (1) c significa la velocidad de luz.

55 Normalmente el sensor 106 de imágenes está configurado como sensor fotoeléctrico y transformador de imágenes semiconductor que también se denomina sensor de píxeles activos (APS *active-pixel-sensor*) y presenta elementos de circuito activos asociados a cada píxel, en particular transformadores de imágenes semiconductores que emplean fotodiodos y/o compuertas fotoeléctricas con el denominado muestreo doble correlacionado (CDS/*Correlated Double Sampling*). Los sensores de píxeles activos son transformadores de imágenes semiconductores en los que cada in cada píxel contiene elementos de píxel semiconductores típicos entre otras zonas fotosensibles, medios de restablecimiento, medios para transformar carga en tensión y además todas las partes de un amplificador. La carga fotoeléctrica generada en un píxel mediante iluminación se transforma en una tensión correspondiente o una

corriente correspondiente.

Mediante las dos figuras 2 y 3 siguientes se describen ahora estructuras de píxel ToF conocidas que pueden utilizarse o modificarse en relación con la presente invención.

- 5 La figura 2 muestra en una representación esquemática de sección transversal una estructura 200 de píxel que se basa en un fotodiodo fijado.

La estructura 200 de píxel ToF está formada en una capa epi-p o una capa 202 p epitáctica de bajo dopaje que está dispuesta sobre un sustrato p⁺ o sustrato p 204 de alto dopaje. Como puede observarse, el fotodiodo 206 fijado está
 10 formado por una cubeta 208 n dopada en la capa 202, en cuyo lado descubierto está dispuesta de nuevo una zona 210 p⁺ dopada. La zona 210 p⁺ dopada provoca que un pozo de potencial del fotodiodo 206 se retire de la superficie y por consiguiente, por ejemplo, puedan minimizarse corrientes oscuras. Para ello la zona 210 dopada p⁺ se coloca a masa. En los bordes entre la cubeta 208 n dopada, la zona 210 p⁺ dopada y la capa epi-p⁻ 202 aparece una zona de carga espacial, la cubeta n se agota en portadores de carga libres. Con el número de referencia 218 se señala una capacidad parásita cuya sensibilidad espectral es irrelevante. En la superficie descubierta de la capa 202 están
 15 formadas otras dos zonas 220 y 222 n⁺ dopada, formando la primera zona mencionada junto con la cubeta 210 n un transistor o un transistor MOS (semiconductor de óxido de metal) que en lo sucesivo se denomina también como conmutador de transferencia o compuerta de transferencia TG, y presenta un electrodo 224 de compuerta, que se extiende por encima de la cubeta 210 n y la zona 220 n⁺ y entre las mismas y está separado por una capa 226 de dióxido de silicio de la cubeta 210 n y la zona 220 n⁺. De manera similar una disposición de capa de una capa 228 de dióxido de silicio y un electrodo 230 de compuerta se extiende entre la zona 220 n⁺ y la zona 222 n⁺ para formar un transistor o transistor MOS que funciona como conmutador de reinicio. Tal como se muestra en la figura 2 la transición pn entre la zona 220 n⁺ y la capa 202 p⁻ forma una capacidad C_{FD} de lectura o de evaluación que también se denomina capacidad de difusión flotante. La compuerta de transferencia TG y el transistor de reinicio pueden
 25 controlarse ahora mediante un circuito de control (no mostrado) de modo que mediante una iluminación de una zona fotoactiva formada por el fotodiodo fijado fluyen portadores de carga a través de la compuerta de transferencia desde la zona fotoactiva a la capacidad C_{FD} de evaluación y desde allí pueden transformarse para llevar a cabo una medición de distancia basándose en todo esto. La compuerta de transferencia es por lo tanto un conmutador que en este caso conecta la zona fotoactiva formada por el fotodiodo 214 con la capacidad C_{FD} de evaluación formada por la transición entre la zona 220 n⁺ y la capa 202 p⁻ cuando el conmutador está cerrado, es decir el electrodo 224 de compuerta se controla de manera correspondiente.

Una estructura 300 de píxel ToF adicional a modo de ejemplo que se basa en una compuerta fotoeléctrica se
 35 representa en la sección transversal en la figura 3.

Al igual que la estructura 200 de píxel según la figura 2 también la estructura 300 de píxel según la figura 3 está formada sobre una capa 302 p epitáctica de bajo dopaje que está dispuesta sobre un sustrato 304 p de alto dopaje. Por encima de la capa 302 p⁻ únicamente a modo de ejemplo está dispuesta una capa 306 denominada cubeta p en la que están dispuestos distintos componentes de la estructura 300 de píxel ToF como se describe a continuación.

40 Entre la cubeta p 306 y una capa de 308 dióxido de silicio dispuesta sobre la misma se forman dos zonas 310 y 312 denominadas de difusión flotante n⁺ (áreas de difusión). Estas zonas de difusión flotante son capacitivas, es decir, son capaces de almacenar portadores de carga, indicado mediante C_{FD}. El elemento 300 de píxel puede controlarse por medio de tres electrodos o compuertas 314, 316 y 318, normalmente de silicio policristalino (polisilicio) que están dispuestas por encima de la capa 308 de dióxido de silicio. Las estructuras 320 STI (*shallow trench isolation*, aislamiento de zanja poco profunda) convencionales están dispuestas a los lados fuera de las zonas 310 y 312 de difusión flotante n⁺ para evitar corrientes de fuga en un elemento de píxel adyacente (no mostrado).

La estructura 300 de píxel funciona como un fotodetector para generar mediante fotones, que se reflejan por un objeto 104 de medición y entran en la estructura 300 de píxel, pares de huecos de electrones en función de la profundidad de penetración de los fotones incidentes, en la estructura cristalina del material semiconductor de silicio. La estructura 300 se denomina en general compuerta fotoeléctrica-fotodetector dado que un campo eléctrico que parte de la compuerta fotoeléctrica 314 tiene como consecuencia zona 322 de agotamiento en la cubeta 306 p situada por debajo, de modo que en este lugar debido a una radiación incidente de luz se acumulan portadores de
 50 carga. La zona 322 de agotamiento comienza en la superficie de la cubeta 306 p y se extiende en la dirección del sustrato 304 p⁺ situado por debajo. La profundidad de la zona 322 de agotamiento depende de un grosor de la capa 308 de dióxido de silicio, de una tensión aplicada en la compuerta fotoeléctrica 314, de un dopaje de la cubeta p y de un dopaje del sustrato. Si se controlan las compuertas 316, 318 de transferencia, se permite en cada caso un flujo de portadores de carga entre la zona 322 de agotamiento, es decir zona fotoactiva, y la zona 310, 312 de difusión flotante respectiva. Los portadores de carga transferidos provocan de nuevo en las capacidades C_{FD}, formadas por las zonas de difusión flotante, caídas de tensión que son directamente proporcionales a la carga transferida y pueden medirse. Si las compuertas 316, 318 de transferencia se controlan en tiempos adecuados y las cargas o tensiones resultantes se miden pueden determinarse el inicio y fin de un pulso de radiación reflejado por el objeto 104 de medición. A partir de esto puede deducirse la distancia d respecto al objeto 104 de medición.

Sin embargo una superposición de señales útiles $E_{\text{luz, fuente, r}}$ y luz E_{amb} de fondo dificulta de manera decisiva la determinación exacta del retraso T_d de propagación y por consiguiente de la exactitud del registro de la distancia. Para eliminar la luz de fondo de manera eficiente se han establecido distintos procedimientos. En los documentos DE 198 33 207 y US 7,186,965 se describe en cada caso un procedimiento de lectura que trabaja con fuentes de láser pulsado. Mediante iluminación doble de una escena 3D (una vez con láser y otra vez sin láser) se determina en este procedimiento la luz de fondo y se elimina mediante sustracción siguiente. Además, para considerar la reflectividad del objeto de medición y el debilitamiento debido a la distancia del pulso de láser reflejado se utilizan dos ventanas de tiempo de tipo "shutter" (obturador) electrónicas, de longitud distinta. En resumen, por consiguiente para la determinación de la distancia se necesitan siempre dos ciclos de pulso de láser correspondientes, que por un lado limita la velocidad del procedimiento y por otro lado aumenta la energía láser necesaria. Además el desfase en el tiempo entre los dos ciclos de pulso de láser puede llevar a errores en la medición de distancia cuando el sensor o el objeto se mueven.

De este modo según la solicitud de patente PCT/EP2009/002570 se presenta un procedimiento optimizado con un obturador doble electrónico compuesto por dos niveles de muestreo y retención (*sample and hold*) que hace posible la determinación de los valores de medición dependientes de la distancia así como de los valores de reflectividad con solo un pulso de láser. Ambos procedimientos emplean fotodiodos estándar pn y usan la capacidad de capa de barrera de la transición pn al mismo tiempo como nodo de integración y de lectura. Otros procedimientos ToF, como por ejemplo en los documentos US 2007/0158770 A1 y US 7436496 B2 emplean en cambio estructuras de píxel basadas en fotodiodos de compuertas fotoeléctrica o de PIN con al menos dos compuertas de transferencia, en las cuales el área fotoactiva está separada de nodos de lectura, es decir de la difusión flotante. Mediante una sincronización hábil de pulso de láser y control de ambas compuertas de transferencia la estructura de píxel se hace funcionar como un tipo de "columpio de carga", con el que pueden determinarse el retraso T_d del pulso de láser reflejado y por consiguiente la distancia d . Una eliminación de luz de fondo eficiente no se describe en este procedimiento.

Estructuras de compuerta fotoeléctrica similares se presentan en los documentos US 6825455 o US 7060957. A diferencia de los procedimientos ToF pulsados en este caso, sin embargo, se emplea una fuente de luz sinusoidal modulada continuamente. La información de la distancia puede reconstruirse a este respecto mediante el desplazamiento de fase de la luz reflejada. Debido a la iluminación continua del espacio, no obstante pueden producirse problemas en el uso de este procedimiento en cuanto al mantenimiento de los aspectos de seguridad para la persona. En este caso solo proporciona remedio una reducción de la intensidad de radiación, lo que de nuevo lleva a problemas en la eliminación de la luz de fondo. Igualmente el algoritmo de exploración se muestra ineficaz frente a ambigüedades en la determinación de la posición de fase.

El documento US 2009/0134396 A1 describe un píxel de un distanciómetro semiconductor en el que a través de correspondientes electrodos de compuerta pueden distribuirse de manera controlable cargas que se acumulan por debajo de un electrodo de compuerta de recepción de luz, en cuatro regiones dopadas externas. Los cuatro electrodos están dispuestos en un plano con el electrodo de compuerta fotoeléctrica alrededor de este último y distanciados de este.

Partiendo de este estado de la técnica el objetivo de la presente invención consiste en facilitar una estructura de píxel optimizada en cuanto a la velocidad de medición con eliminación de luz de fondo y ruido fotoeléctrico optimizada al mismo tiempo.

Este objetivo se resuelve con una estructura de píxel para la medición óptica de la distancia según la reivindicación 1, un sistema para la medición óptica de la distancia según la reivindicación 13 y un procedimiento según la reivindicación 14.

Según un ejemplo de realización de la presente invención se facilita una estructura de píxel para la medición óptica de la distancia, presentando la estructura de píxel una zona fotoactiva para generar portadores de carga como respuesta a la radiación óptica que incide sobre la zona fotoactiva, así como un terminal de potencial de referencia para un potencial de referencia que actúa como cavidad de portador de carga. Además la estructura de píxel presenta una pluralidad de al menos tres capacidades de evaluación en forma de zonas de difusión flotante que están dispuestas distanciadas a los lados de un borde de la zona fotoactiva alrededor de la zona fotoactiva. Además la estructura de píxel presenta una pluralidad de al menos cuatro compuertas de transferencia en forma de condensadores MOS para transportar los portadores de carga generados desde la zona fotoactiva, así como un circuito de control que está configurado para controlar cíclicamente en cada ciclo una primera de las al menos tres compuertas de transferencia durante un primer intervalo de control sincronizado con un pulso de radiación de una fuente de radiación, de modo que pueden transportarse primeros portadores de carga generados durante el primer intervalo de control de la zona fotoactiva hacia una primera capacidad de evaluación, para controlar una segunda de las al menos tres compuertas de transferencia durante un segundo intervalo de control sincronizado con un pulso de radiación de una fuente de radiación situado fuera del primer intervalo de control, de modo que pueden transportarse

segundos portadores de carga generados durante el segundo intervalo de control desde la zona fotoactiva hacia una segunda capacidad de evaluación, para controlar una tercera de las al menos tres compuertas de transferencia durante un tercer intervalo de control situado fuera del primero y segundo intervalo de control, de modo que pueden transportarse terceros portadores de carga generados durante el tercer intervalo de control desde la zona fotoactiva hacia una tercera capacidad de evaluación, y para controlar permanentemente la compuerta adicional de las cuatro compuertas de transferencia durante un tiempo fuera del primer, segundo y tercer intervalo de control, para conectar la zona fotoactiva con el terminal de potencial de referencia de modo que en cada momento durante el ciclo se controla al menos una de la pluralidad de las compuertas de transferencia. Cuatro capacidades de evaluación en forma de zonas de difusión flotante están distanciadas a los lados de un borde de la zona fotoactiva alrededor de la zona fotoactiva. Las cuatro compuertas de transferencia están configuradas para transportar los portadores de carga generados desde la zona fotoactiva a una capacidad respectiva de las al menos cuatro capacidades de evaluación, estando configurado el circuito de control para modificar de un ciclo a un ciclo siguiente el control de las compuertas de transferencia de modo que una cuarta de las cuatro capacidades de evaluación, hacia la cual pueden transportarse los portadores de carga generados desde la zona fotoactiva a través de la compuerta adicional de las cuatro compuertas de transferencia, se emplea para la acumulación de portadores de carga durante el primer intervalo de control.

Según un ejemplo de realización adicional la presente invención representa un sistema para la medición óptica de la distancia con una fuente de radiación para enviar un pulso de radiación en la dirección de un objeto de medición, de una estructura de píxel de acuerdo con la invención y una unidad de sincronización para sincronizar la fuente de radiación con el circuito de control de la estructura de píxel, de modo que el circuito de control controla las compuertas de transferencia de tal modo que los intervalos de control de las compuertas de transferencia dependen del pulso de radiación.

La zona fotoactiva de la estructura de píxel puede estar formada, según distintos ejemplos de realización, por un fotodiodo fijado, un fotodiodo enterrado (*buried*) o por una compuerta fotoeléctrica. En general la zona fotoactiva puede estar realizada por cualquier tipo de fotodiodos que presentan una posibilidad de la transferencia de carga dirigida a través de una compuerta de control o compuerta de transferencia (por ejemplo estructuras de píxel con fotodiodos de campo de deriva lateral, *lateral drift-field*). Por consiguiente la funcionalidad de obturador (*shutter*) electrónico descrita anteriormente puede integrarse mediante intervalos de control seleccionados de forma correspondiente directamente en la estructura de píxel ToF misma.

Cada una de la pluralidad de las compuertas de transferencia provoca un transporte de portadores de carga fotogenerados desde la zona fotoactiva a un correspondiente nodo de lectura, que se forma por ejemplo mediante una zona de difusión flotante con una capacidad de capa de barrera C_{FD} . Para ello las compuertas de transferencia según un ejemplo de realización preferido están formadas en cada caso en bordes diferentes o regiones marginales de la zona fotoactiva. Con ayuda de dos compuertas de transferencia y de dos zonas de difusión flotante que actúan como capacidades de evaluación puede averiguarse un pulso de radiación o de luz reflejado y su desplazamiento T_d en el tiempo hacia el pulso de radiación o de luz emitido. En todos los otros momentos fuera de los intervalos de control de las al menos dos compuertas de transferencia puede unirse mediante activación de una compuerta de transferencia adicional la zona fotoactiva con una cavidad de portador de carga, y por consiguiente todos los portadores de carga no deseados térmicamente y generados mediante luz de fondo en la dirección de la cavidad de portador de carga pueden salir. Según un ejemplo de realización preferido la cavidad de portador de carga está realizada mediante una zona de difusión flotante que está conectada con un potencial de referencia a través de un transistor de reinicio en todos los demás momentos fuera de los intervalos de control de las al menos dos otras compuertas de transferencia.

Con ayuda de dos compuertas de transferencia y dos zonas de difusión flotante puede averiguarse por un lado el pulso de radiación reflejado y su desplazamiento hacia el pulso de radiación emitido. Dado que el pulso de radiación reflejado solapa la luz de fondo por medio de una tercera compuerta de transferencia la luz de fondo E_{amb} puede captarse sin demora con respecto al pulso reflejado y a continuación calcularse sus influencias en la medición de la distancia. La cuarta compuerta de transferencia sirve para "aspirar" portadores de carga fotoeléctrica generados por la luz de fondo durante los espacios de tiempo, en los que las otras tres compuertas de transferencia no están activas. Para ello la cuarta compuerta de transferencia se controla permanentemente durante todos los momentos fuera de los intervalos de control del resto de las tres compuertas de transferencia, para conectar la zona fotoactiva durante este tiempo a través de la cuarta compuerta de transferencia o el transistor de transferencia con la cavidad de portador de carga.

Ejemplos de realización de la presente invención hacen posible el uso de solo un pulso de láser para la captación completa del retraso T_d del pulso o de la información de distancia d que resulta de este. Por este motivo una energía de láser necesaria puede reducirse a la mitad en comparación con el estado de la técnica y al mismo tiempo puede duplicarse una velocidad de medición. Como consecuencia tiene lugar una correlación posible de forma óptima de valores de medición de distancia y normalización (reflectividad, debilitamiento debido a la distancia), por lo que el concepto de acuerdo con la invención es adecuado también para escenarios de intensa variación en el tiempo u

objetos de movimiento muy rápido.

En una estructura de píxel según un ejemplo de realización de la presente invención la luz de fondo puede captarse casi al mismo tiempo que la señal y a continuación sustraerse de la señal útil, por lo que también la velocidad de medición puede aumentarse.

Mediante una separación de nodos de detección y de lectura un ruido de reinicio o de restablecimiento ya no depende de la zona fotoactiva y puede reducirse por consiguiente notablemente en caso de una difusión flotante seleccionada pequeña. Esta ventaja es importante especialmente en el uso de zonas fotoactivas de gran superficie y al mismo tiempo de nodos de lectura de pequeñas dimensiones.

Una estructura de píxel de acuerdo ToF con la invención ofrece mediante emisión enésima del pulso de radiación igualmente la posibilidad para la acumulación de portadores de carga enésima ya dentro de la difusión flotante de la estructura de píxel. Por ello la cantidad del ruido de reinicio o de restablecimiento puede minimizarse y una zona dinámica así como una relación de potencia señal a ruido puede aumentarse.

Ejemplos de realización preferidos de la presente invención se explican ahora a continuación con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos. Muestran:

- 20 la figura 1 una representación esquemática de un sistema convencional para la medición óptica de la distancia según el principio ToF;
- la figura 2 una representación en sección transversal semiesquemática de una estructura de píxel ToF convencional que se basa en un fotodiodo fijado;
- 25 la figura 3 una representación en sección transversal semiesquemática de una estructura de píxel convencional que se basa en una compuerta fotoeléctrica;
- la figura 4 una representación en vista en planta desde arriba esquemática de una estructura de píxel según un ejemplo de realización de la presente invención;
- la figura 5 una representación de sección transversal de la estructura de píxel según la figura 4;
- 30 la figura 6 una representación de una ruta de señal analógica de un píxel ToF de acuerdo con la invención con cuatro nodos de lectura-difusión flotante y nivel CDS correspondiente;
- la figura 7 una representación esquemática de sección transversal de una estructura de píxel ToF basada en compuerta fotoeléctrica según un ejemplo de realización de la presente invención; y
- la figura 8 una representación esquemática de una evolución en el tiempo de señales de control para el control de una estructura de píxel de acuerdo con la invención.

Antes de que a continuación se describa con más detalle la presente invención mediante las figuras 4 a 7 cabe indicar que los mismos elementos en las figuras están provistos con los mismos números de referencia o similares y que se omite una descripción repetida de estos elementos.

- 40 Además cabe indicar que en la siguiente descripción de figuras se parte del hecho de que las estructuras de píxeles mostradas son parte de un sistema para la medición óptica de la distancia similar a la figura 1, por lo que parcialmente se hace referencia a la figura 1 y sus elementos, sin describir de nuevo la estructura de la figura 1. En particular las estructuras de píxel descritas a continuación representan por ejemplo un píxel individual de una disposición de píxeles de un sensor 106 de imágenes como se desprende de la siguiente descripción aún con más detalle.

La figura 4 muestra en una representación en vista en planta desde arriba esquemática una estructura 400 de píxel según un ejemplo de realización de la presente invención.

- 50 La estructura 400 de píxel presenta una zona 402 fotoactiva o fotosensible para la generación de portadores de carga como respuesta a la radiación óptica que incide sobre la zona 402 fotoactiva. Además está prevista una pluralidad de compuertas 404-n o TXn (n=1,2,...) de transferencia con el fin de transportar los portadores de carga generados desde la zona 402 fotoactiva. Está previsto un circuito de control 406 para controlar al menos dos compuertas 404-1, 404-2 diferentes de la pluralidad de las compuertas de transferencia durante diferentes intervalos de control periódicos de modo que durante los intervalos de control mediante un pulso de radiación reflejado por un objeto de medición 104 y/o mediante portadores de carga generados por radiación de fondo pueden transportarse desde la zona 402 fotoactiva a nodos de lectura o capacidades 408-n o FDn (n=1,2,...) de evaluación acoplados en cada caso con las al menos dos compuertas 404-1, 404-2 de transferencia. El circuito 406 de control está configurado además para controlar de manera duradera una compuerta 404-4 de transferencia adicional de la pluralidad de compuertas 404-n (n=1,2,...) de transferencia durante un tiempo fuera de los intervalos de control de las otras compuertas 404-1, 404-2 (y/o 404-3) de transferencia para conectar la zona 402 fotoactiva durante todo el tiempo fuera de los intervalos de control de las otras compuertas de transferencia con una cavidad 410 de portador de carga. La cavidad 410 de portador de carga, según ejemplos de realización, es a este respecto un potencial de referencia o un terminal de potencial de referencia que acopla la compuerta 404-4 de transferencia con el potencial

de referencia, pudiendo moverse el potencial de referencia en zonas típicas para circuitos de semiconductor, es decir de aproximadamente 1V a aproximadamente 5 V.

5 En otras palabras, una estructura 400 de pixel de acuerdo con la invención comprende por lo tanto al menos tres compuertas 404-n o TXn de transferencia, en donde al menos dos sirven para el transporte de soportes de carga fotogenerados desde la zona 402 fotoactiva a nodos o capacidades 408-n o FDn de evaluación correspondientes, y en donde una de las compuertas 404- 4 de transferencia en todos los momentos, en los que las otras compuertas de transferencia están inactivas sirve para un transporte de portadores de carga desde la zona 402 fotoactiva hacia la cavidad 410 de portador de carga para dejar salir portadores de carga no deseados que falsean la medición, desde la zona 402 fotoactiva .

15 Aunque para la presente invención por lo tanto ya son suficientes tres compuertas de transferencia o de control, la figura 4 muestra un ejemplo de realización preferido de un sensor de píxel con cuatro compuertas 404-n ($n=1, \dots, 4$) de transferencia, que están formadas en diferentes zonas marginales de la zona 402 fotoactiva. La zona 402 fotoactiva puede comprender a este respecto según diferentes ejemplos de realización una transición pn como elemento constructivo fotosensible, un fotodiodo PIN, un fotodiodo fijado o una compuerta fotoeléctrica, que ya se han descrito parcialmente mediante las figuras 2 y 3. La zona 402 fotoactiva, que puede situarse en el centro de la estructura 400 de píxel activa está representada en la figura 4 a modo de ejemplo cuadrada, pero para la mejora de propiedades de transporte físicas puede constar perfectamente también de polígonos con más de cuatro ángulos.

20 En cuatro bordes o zonas marginales de la zona 402 fotoactiva se encuentran compuertas 404-n ($n=1, \dots, 4$) de transferencia que hacen posible un transporte de portadores de carga fotogenerados desde la zona 402 fotoactiva hacia nodos 408-n de lectura respectivos o, en el caso de la compuerta 404-4 de transferencia, el transporte de portadores de carga fotogenerados hacia la cavidad de portador 410 de carga. Con ayuda de las dos compuertas 404-1 y 404-2 de transferencia y de las capacidades 408-1 y 408-2 de lectura formadas por las dos correspondientes difusiones flotantes FD1 y FD2 puede averiguarse, por un lado, un pulso de radiación reflejado y su desplazamiento en el tiempo T_d con respecto al pulso de radiación emitido. Por otro lado, las dos compuertas 404-3 y 404-4 de transferencia adicionales y las capacidades 408-3 y 408-4 de lectura formadas por las dos correspondientes difusiones flotantes FD3 y FD4 ofrecen la posibilidad de captar la luz de fondo y eliminarla de manera efectiva en frecuencias de reloj deseadas, como se explica con detalle más adelante. Para la captación completa del retraso T_d del pulso de radiación reflejado o de la información de distancia d es necesario a este respecto solo es necesario un pulso de radiación enviado.

35 Después de que mediante la vista en planta desde arriba mostrada en la figura 4 se haya descrito a grandes rasgos una estructura de píxel de acuerdo con la invención, la figura 5 muestra una sección transversal más detallada de la estructura 400 de píxel a lo largo de la línea de corte AA'.

A este respecto puede distinguirse una estructura que se asemeja a la descrita mediante la figura 3. La estructura 400 de píxel puede integrarse en un proceso CMOS estándar sobre un sustrato p^+ y una capa epi-p 302. La zona 402 fotoactiva o la compuerta fotoeléctrica PG se define mediante un condensador MOS de una pila de capas a partir de una primera capa 314 de polisilicio (poli 1) sobre un óxido 308 de silicio delgado sobre una cubeta p 306. Para la transferencia de portadores de carga fotogenerados desde la zona 402 fotoactiva se utilizan segundos condensadores MOS como compuertas 404-n de transferencia que en cada caso están definidas por una pila de capas a partir de una segunda capa de polisilicio (poli 2) sobre una capa 502 de aislamiento óxido-nitrato-óxido (ONO) sobre la cubeta 306 p. A este respecto la capa 316, 318 poli-2 y la capa ONO 502 respectiva de las compuertas 404-n de transferencia en cada caso se superpone parcialmente con la capa 314 poli-1 de la compuerta PG fotoeléctrica. Los cuatro condensadores MOS de poli-2 forman a este respecto por lo tanto las cuatro compuertas 404-n de transferencia que en cuatro bordes se superponen con la compuerta fotoeléctrica PG por ejemplo cuadrada y permiten la transferencia de carga entre la compuerta fotoeléctrica PG y las zonas 310, 312 de difusión n^+ (difusiones flotantes FDn). Cada una de las difusiones flotantes FDn ($n=1, \dots, 4$) está acoplada con un transistor de restablecimiento o reinicio y un circuito de lectura (no mostrado) como va a describirse a continuación.

50 Después de que se haya explicado anteriormente una estructura a modo de ejemplo de una estructura 400 de píxel de acuerdo con la invención, a continuación va a representarse el funcionamiento de un sensor de píxeles activos basando en esto mediante un circuito (figura 6) para un APS y un diagrama de tiempo correspondiente (figura 8), con el que se ilustra una medición para la distancia d con corrección de luz parásita.

60 La figura 6 muestra una estructura esquemática de un circuito 600 de lectura analógico de tiempo de propagación para la estructura 400 de píxel. A este respecto el circuito 600 de lectura comprende para cada una de las cuatro compuertas TXn o 404-n ($n=1, \dots, 4$) de transferencia un ruta de lectura en cada caso. Las capacidades 408 n de lectura formadas por las difusiones flotantes FDn ($n=1, \dots, 4$) al comienzo de cada proceso de iluminación se polarizan en cada caso a través de un conmutador RST FDn ($n=1, \dots, 4$) de restablecimiento o de reinicio que puede estar configurado como transistor, con un potencial V_{REF} de referencia. Cada una de las cuatro rutas de lectura presenta además en cada caso un amplificador seguidor SF. Los amplificadores seguidores SF están realizados por regla general como circuitos drenadores y regulan las tensiones aplicadas en las capacidades de capa de barrera de las

difusiones flotantes FDn (n=1,...,4). Las salidas de los amplificadores seguidores SF pueden conectarse en cada caso a través de un conmutador SEL FDn (n=1,...,4) de selección con un circuito 650 que se une para el muestreo doble correlacionado (CDS = *Correlated Double Sampling*).

5 El procesamiento siguiente de los paquetes de carga acumulados de las difusiones FDn (n=1,...,4) flotantes individuales se realiza, como se representa en la figura 6 con circuitos de lectura de píxeles activos, que constan en cada caso de tres transistores y un nivel CDS 650 intercalado. A cada uno de los cuatro nodos FDn (n=1,...,4) de lectura está conectado un transistor RST FDn (n=1,...,4) de reinicio, con cuya ayuda, la capacidad de capa de barrera de la difusión flotante FDn (n=1,...,4) respectiva se polariza durante la fase de reinicio en un potencial de referencia V_{REF}. Dentro de la fase de transferencia de portador de carga y en caso de un reinicio desconectado la capacidad 408-n (n=1,...,4) de capa de barrera respectiva se descarga de nuevo dependiendo de los portadores de carga transferidos. La señal de medición aplicada en las cuatro difusiones flotantes FDn (n=1,...,4) en cada caso se regula con cuatro seguidores SF de fuente separados y se conecta con conmutadores SEL FDn (n=1,...,4) de selección en la entrada del nivel CDS 650. El nivel CDS 650 presenta cuatro niveles de retroalimentación con cuya ayuda fuera de la estructura de píxel APS apropiadamente dichas puede realizarse una acumulación enésima adicional para cada una de las cuatro difusión flotantes FDn (n=1,...,4). Además con el nivel CDS 650 pueden eliminarse porcentajes de ruido de la ruta analógica 600 de baja frecuencia.

20 La cavidad 410 de portador de carga se forma según un ejemplo de realización al estar conectada la capacidad 408-4 de evaluación formada por la cuarta difusión flotante FD4 a través del conmutador o transistor RST FD4 de reinicio con el potencial V_{REF} de referencia a través del cual pueden salir portadores de carga fotogenerados. Es decir, la cavidad 410 de portador de carga se forma por la zona 408-4 o FD4 de difusión flotante acoplada con el potencial V_{REF} de referencia que está asociado a la compuerta 404-4 o TX4 de transferencia de modo que durante todo el tiempo fuera de los intervalos de control de las otras compuertas TX1, TX2, TX3 de transferencia puede salir portadores de carga desde la zona 402 fotoactiva a través de la compuerta TX4 de transferencia en la dirección del potencial V_{REF} de referencia. Naturalmente el transistor RST FD4 situado en el estado de reinicio permanente también puede omitirse totalmente, de modo que en este caso la cuarta capacidad 408-4 de evaluación podría conectarse directamente con el potencial V_{REF} de referencia para formar la cavidad de portador de carga. De manera correspondiente podría omitirse el circuito de evaluación que sigue a la cuarta difusión flotante FD4 con amplificador seguidor SF, conmutador de selección SEL FD4 y la rama correspondiente en el nivel CDS 650. Sin embargo puede ser conveniente controlar de manera diferente las cuatro difusiones flotantes FDn (n=1,...,4) diferentes de manera aleatoria o según un esquema predeterminado. De este modo, por ejemplo, en un primer ciclo de medición podría emplearse una configuración de las cuatro difusiones flotantes, tal como se ha descrito con anterioridad. En un ciclo de medición siguiente, sin embargo, por ejemplo podría emplearse FD4 para la acumulación de portadores de carga durante el primer intervalo de control y, en su lugar, FD1 para la aspiración de portadores de carga fotogenerados fuera de los intervalos de control del resto de compuertas TXn (n=2,3,4) de transferencia, de modo que FD4 asumiría la función de FD1, y a la inversa. Mediante este modo de proceder pueden compensarse por ejemplo tolerancias de fabricación con respecto a los valores de capacidad de las capas de barrera de las difusiones flotantes FDn (n=1,...,4).

40 Mediante las figuras 7 y 8 se aclara ahora a modo de ejemplo un concepto de lectura de la estructura 400 de píxel ToF de acuerdo con la invención y se describe una aritmética para determinar la información de distancia d en caso de una eliminación simultánea de la luz de fondo E_{amb}. Para ello se emplea el píxel 400 ToF basado en compuertas fotoeléctricas mostrado en la figura 7 en sección transversal a lo largo de la línea AA' que consta de compuerta fotoeléctrica PG, cuatro compuertas TXn de transferencia, cuatro difusiones flotantes FDn y los correspondientes transistores RST FDn (n=1,...,4) de reinicio. Además en la figura 7 se representan cursos de potencial dentro del material semiconductor para una fase de integración, reinicio y transferencia. Durante una fase de reinicio de una difusión flotante FDn (n=1,...,4) la compuerta 404-n o TXn (n=1,...,4) de transferencia correspondiente está desconectada (Φ_{TX}), es decir, el conmutador TXn (n=1,...,4) correspondiente representado en la figura 6 está abierto. Durante esta fase en la difusión flotante FDn (n=1,...,4) correspondiente o en su capacidad de capa de barrera se ajusta el potencial de referencia Φ_{REF} o V_{REF}. Ya durante la fase de reinicio es posible comenzar una acumulación (integración) de portadores de carga fotogenerados por debajo de la compuerta fotoeléctrica PG al generarse una zona de carga espacial mediante la polarización del electrodo de compuerta fotoeléctrica (Φ_{PG+}). Una operación de transferencia de portadores de carga fotogenerados desde la zona 402 fotoactiva a través de las compuertas 404-n o TXn (n=1,...,4) de transferencia hacia las difusiones flotante 408-n o FDn (n=1,...,4) puede tener lugar solo cuando se cumplen las siguientes condiciones para los potenciales electrostáticos dentro del silicio:

$$\phi_{TX}^+ > \phi_{PG}^+ > \phi_{PG}^- > \phi_{TX}^- \quad (2)$$

60 Si se contemplan los cursos de potencia dibujados en la figura 7 entonces se detecta que en el caso de electrodo de compuerta fotoeléctrica (Φ_{PG+}) polarizado y compuerta TX1 (Φ_{TX1+}) de transferencia controlada predomina una caída de potencial en la dirección de la primera capacidad 404-1 de lectura formada por la primera difusión flotante FD1 de modo que los portadores de carga desde la zona 402 fotoactiva por debajo de la compuerta fotoeléctrica PG pueden transportarse hacia la difusión flotante FD1. Un transporte de carga desde la zona 402 fotoactiva hacia la segunda

5 difusión flotante FD2 en caso de una segunda compuerta de transferencia TX2 (Φ_{TX2}) no controlada sin embargo no es posible. En cambio, si se controla TX2 (Φ_{TX2+}) y TX1 no se controla (Φ_{TX1-}), es la inversa, es decir portadores de carga se transportan desde la zona 402 fotoactiva hacia la segunda difusión flotante FD2. Lo mismo se aplica para el resto de las compuertas TXn o 404-n ($n=3,4$) de transferencia y las correspondientes difusiones flotantes.

La evolución en el tiempo de una medición ToF con una estructura 400 de pixel de acuerdo con la invención se explica ahora con más detalle mediante un diagrama 800 de secuencia-tiempo representado en la figura 8.

La figura 8 muestra cursos de potencial tanto para las cuatro compuertas TXn ($n=1, \dots, 4$) de transferencia como para la compuerta fotoeléctrica PG trazados a través del tiempo t en unidades arbitrarias. Igualmente están representados cursos de potencial para los transistores RST FDn ($n=1, \dots, 4$) de reinicio y los conmutadores de selección SEL FDn ($n=1, \dots, 4$). El eje de tiempo se divide aproximadamente en tres fases: fase de restablecimiento o reinicio, fase de integración de carga y fase de lectura.

En la fase de reinicio 802 todas las difusiones flotantes FDn ($n=1, \dots, 4$) están polarizadas a través de sus transistores RST FDn ($n=1, \dots, 4$) de reinicio asociados en cada caso en el potencial de referencia (Φ_{REF}), por lo que potenciales de control $\Phi(RST FDn)$ de los transistores de reinicio se encuentran en un estado "alto". En esta fase de reinicio 802 ni las compuertas TXn ($n=1, \dots, 4$) de transferencia ni la compuerta fotoeléctrica PG se controla por el circuito 406 de control lo que significa que los mostrados conmutadores TXn ($n=1, \dots, 4$) en la figura 6 están abiertos en su totalidad y por debajo del electrodo 314 de compuerta fotoeléctrica no se configura zona de carga espacial alguna. En la fase 802 de reinicio, es decir, antes de un ciclo 804 de integración ToF se reinician las cuatro difusiones flotantes FDn ($n=1, \dots, 4$) y el nivel de reinicio (Φ_{REF}) se almacena como referencia en el nivel CDS 650, por lo que en la fase 802 de reinicio los conmutadores SEL FDn ($n=1, \dots, 4$) de selección se controlan o se cierran en cada caso, tal como está indicado mediante el número de referencia 806.

En la fase 804 de integración ToF en un momento t_0 se emite (808) un pulso de radiación óptica con duración de pulso T_{pulso} y al mismo tiempo la primera ventana "shutter" (obturador) se activa mediante el control de la primera compuerta TX1 de transferencia en un primer intervalo 810 de control. A este respecto el primer intervalo 810 de control está sincronizado en el tiempo con respecto al pulso 808 emitido. Es decir, el primer intervalo 810 de control de la primera compuerta TX1 de transferencia se extiende desde el momento t_0 a lo largo de una duración T_{pulso} hasta el momento t_2 . Según el retardo T_d en el tiempo de un pulso 812 de radiación reflejado en la primera difusión flotante FD1 o su capacidad de capa de barrera en el momento t_2 se encuentra un paquete de carga Q_{FD1} según

$$Q_{FD1} = r(I_{amb} \cdot T_{pulso} + I_{pulso} \cdot (T_{pulso} - T_d)) \quad (3)$$

A este respecto durante todo el primer intervalo 810 de control, es decir la duración T_{pulso} de pulso, se genera una corriente fotoeléctrica I_{amb} a través de la luz de fondo E_{amb} , superponiéndose en la ventana de tiempo T_{pulso} T_d , es decir t_1 a t_2 , la corriente I_{amb} mediante un porcentaje I_{pulso} del pulso 812 de radiación reflejado. Directa o inmediatamente después del primer intervalo 810 T_{TX1} de control, es decir, tras la desconexión del primer obturador, en un segundo intervalo T_{TX2} 814 de control (t_2 a t_4) mediante control de la segunda compuerta de transferencia TX2 el segundo "shutter" se activa y captura el porcentaje restante del pulso 812 de radiación reflejado. El segundo intervalo 814 de control corresponde según un ejemplo de realización preferido igualmente a la duración T_{pulso} de pulso, de modo que en una ventana de tiempo de t_2 a t_3 que corresponde al retardo T_d , la corriente fotoeléctrica I_{amb} a través de la luz de fondo E_{amb} de un porcentaje I_{pulso} del pulso 812 de radiación reflejado se superpone. En la segunda difusión flotante FD2 o su capacidad de capa de barrera por consiguiente tras la finalización del segundo intervalo T_{TX2} de control está incluido el paquete de carga Q_{FD2} según

$$Q_{FD2} = r(I_{amb} \cdot T_{pulso} + I_{pulso} \cdot T_d) \quad (4)$$

Para determinar el porcentaje de luz de fondo después de un cierto tiempo muerto, correspondiendo con el intervalo de tiempo t_4 a t_5 (816), la tercera compuerta TX3 de transferencia se controla durante un tiempo $T_{TX3} = T_{pulso}$ y el paquete de carga Q_{FD3} resultante se almacena en la tercera difusión flotante FD3 o su capacidad de capa de barrera.

$$Q_{FD3} = r(I_{amb} \cdot T_{pulso}) \quad (5)$$

Durante los intervalos T_{TX1} , T_{TX2} y T_{TX3} de control de las tres compuertas TXn ($n=1,2,3$) de transferencia se polariza en positivo además la compuerta fotoeléctrica PG para generar una zona de carga espacial en la zona de la zona

402 fotoactiva. Esto está indicado mediante los números de referencia 818 y 820. En todos los otros momentos t esta zona de carga espacial se reduce a una expansión mínima, cercana a la superficie y se controla la cuarta compuerta TX4 de transferencia, lo que está indicado mediante los números de referencia 822, 824 y 826. La cuarta difusión flotante FD4 o su capacidad de capa de barrera se encuentra a este respecto durante los espacios de tiempo 822, 824 y 826 es decir, por así decirlo en un estado de reinicio duradero y permite fluir a todos los portadores de carga no deseados térmicamente y generados por la luz de fondo en la dirección g del potencial (Φ_{REF}) de referencia.

Como puede distinguirse a partir del diagrama de secuencia-tiempo de la figura 8, el circuito 406 de control está configurado por lo tanto para controlar cíclicamente la pluralidad de las compuertas TXn de transferencia dentro de un ciclo de integración de carga. En cada ciclo de integración de carga las al menos dos de la pluralidad de las compuertas TXn de transferencia se controlan en cada caso al menos una vez, de modo que pueden transportarse portadores de carga generados durante los intervalos 810, 814, 816 de control desde la zona 402 fotoactiva hacia capacidades 408 de evaluación acopladas en cada caso con las al menos dos compuertas de transferencia. Además, durante los intervalos 810, 814, 816 de control de las al menos dos compuertas de transferencia la compuerta 404-4 o TX4 de transferencia adicional no se controla, de modo que la zona 402 fotoactiva durante intervalos de control de las al menos dos compuertas de transferencia no está conectada con el terminal de potencial de referencia. Por lo demás, en cada ciclo la compuerta 404-4 o TX4 de transferencia adicional se controla al menos una vez durante un tiempo 822, 824, 826 fuera de los intervalos 810, 814, 816 de control de las al menos dos compuertas de transferencia para conectar la zona 402 fotoactiva a través de la compuerta 404-4 o TX4 de transferencia adicional con el terminal de potencial de referencia. Es decir, en cada momento durante el ciclo se controla al menos una de la pluralidad de las compuertas 404-n o TXn (n=1,...,4) de transferencia.

El circuito 406 de control está configurado según un ejemplo de realización preferido de la presente invención para controlar la primera compuerta TX1 de transferencia durante el primer intervalo 810 de control sincronizado con el pulso 808 de radiación de una fuente de radiación de modo que pueden transportarse primeros portadores de carga generados durante el primer intervalo 810 de control desde la zona 402 fotoactiva hacia una primera capacidad 408-1 de evaluación formada por la primera difusión flotante FD1. Además el circuito 406 de control está configurado para controlar una segunda compuerta TX2 de transferencia durante un segundo intervalo 814 de control que se une directamente al primer intervalo 810 de control, de modo que pueden transportarse segundos portadores de carga generados durante el segundo intervalo de control 814 desde la zona 402 fotoactiva hacia una capacidad 408-2 de evaluación formada por la segunda difusión flotante FD2. El circuito 406 de control está configurado además para controlar una tercera compuerta TX3 de transferencia durante un tercer intervalo 816 de control situado fuera del primero y segundo intervalo 810, 814 de control, de modo que pueden transportarse terceros portadores de carga generados durante el tercer intervalo 816 de control desde la zona 402 fotoactiva hacia una tercera capacidad 408-3 de evaluación formada por la tercera difusión flotante FD3. El circuito 406 de control controla la cuarta compuerta TX4 de transferencia durante todos los demás momentos fuera del primer, segundo y tercer intervalo 810, 814, 816 de control para conectar la zona 402 fotoactiva con la cavidad 410 de portador de carga.

A este respecto la duración $T_{TXn} = T_{pulso}$ (n=1,...,4) de los intervalos 810, 814, 816 de control mostrados en la figura 8 no es obligatoria. De la misma manera el circuito de control 406 podría estar configurado para controlar las cuatro compuertas TXn (n=1,...,4) de transferencia de modo que el primer, segundo y tercer intervalo 810, 814, 816 de control corresponden a en cada caso un múltiplo de una duración T_{pulso} , de pulso dependiendo de un retardo T_d que va a esperarse de un pulso de radiación reflejado por el objeto 104 de medición. Es decir, $T_{TXn} = i \cdot T_{pulso}$ (n=1,...,4; $i \in \mathbb{N}_0^+$).

A partir de los paquetes Q_{FD1} , Q_{FD2} y Q_{FD3} de carga tensiones derivadas de estos puede determinarse ahora el retraso T_d . Para ello la estructura 400 de pixel activo está acoplada con un circuito de evaluación que para este propósito sustrae inicialmente la carga de fondo Q_{FD3} de las dos cargas Q_{FD1} y Q_{FD2} que contienen señales. Tras algunas conversiones el retraso T_d puede expresarse según

$$T_d = T_{pulso} \frac{Q_{FD2} - Q_{FD3}}{Q_{FD1} + Q_{FD2} - 2Q_{FD3}} \quad (6)$$

, suprimiéndose la reflectancia r del objeto de medición 104. Al considerarse la ecuación (1) resulta la distancia de medición d con respecto a

$$d = \frac{c}{2} T_d = \frac{c}{2} \frac{Q_{FD2} - Q_{FD3}}{Q_{FD1} + Q_{FD2} - 2Q_{FD3}} T_{pulso} \quad (7)$$

En caso de áreas de difusión flotante seleccionadas del mismo tamaño y por consiguiente capacidades 408 de

lectura del mismo tamaño puede averiguarse la distancia d de la siguiente manera directamente a partir de tensiones medidas en las capacidades de capa de barrera de las difusiones flotantes FD_n ($n=1,2,3$):

$$d = \frac{c}{2} \frac{V_{FD2} - V_{FD3}}{V_{FD1} + V_{FD2} - 2V_{FD3}} T_{pulso} \quad (8)$$

5 Una substracción de nivel Φ_{REF} de reinicio y valores de señal de las tensiones de difusión flotante, desde las cuales resultan las tensiones V_{FDn} tiene lugar en el nivel CDS 650. El procesamiento posterior de cálculos de los valores de distancia d puede realizarse o bien por técnicas de circuitos "on-chip" o externamente mediante software.

10 Con un píxel ToF de acuerdo con la invención y del concepto de lectura correspondiente puede realizarse un sensor de imágenes 3D con una disposición de píxeles de por ejemplo 4×16 píxeles. A este respecto pueden producirse las estructuras de píxeles activos de acuerdo con la invención, por ejemplo, por medio de un proceso CMOS estándar de $0,35 \mu\text{m}$. Si como fuente de luz se emplea un láser infrarrojo cercano (NIR) pulsado (longitud de onda $\lambda = 905 \text{ nm}$) con anchos de pulso de $30 \text{ ns} \leq T_{pulso} \leq 60 \text{ ns}$, entonces son posibles mediciones de la distancia de hasta $d = 9 \text{ m}$. La zona 402 de compuerta fotoeléctrica puede presentar a modo de ejemplo una magnitud de $30 \times 30 \mu\text{m}^2$,
15 las compuertas TX_n ($n=1, \dots, 4$) de transferencia tienen por ejemplo en cada caso una longitud de $3 \mu\text{m}$ y las zonas de difusión flotantes FD_n ($n=1, \dots, 4$) pueden variar por ejemplo en un intervalo de $20 \times 1,5 \mu\text{m}^2$ hasta $20 \times 9 \mu\text{m}^2$, lo que corresponde a capacidades de capa de barrera (C_{FD}) en un intervalo de 12 fF a 72 fF para el estado de reinicio ($\Phi_{FD} = \Phi_{REF} = 3,3 \text{ V}$).

20 Las estructuras ToF de píxel de acuerdo con la invención y el concepto de lectura correspondiente no están limitados sólo a APS basados en compuertas fotoeléctricas, entre los que se encuentran también estructuras de píxel que gracias a optimizaciones tecnológicas especiales y relacionadas con el diseño mejoran las propiedades de transporte de las cargas fotogeneradas. Estas mejoras pueden haberse alcanzado, por ejemplo, mediante implementaciones cercanas a la superficie "Buried Channel" (de canal enterrado) o compuertas de polisilicio de alta impedancia. Más bien, el concepto de acuerdo con la invención trabaja también con APS basados en fotodiodos de fijados o enterrados, o en general con cualquier tipo de APS basados en fotodiodos que presenten la posibilidad de la transferencia de carga dirigida mediante una compuerta de control o de transferencia, como por ejemplo también estructuras de píxel con fotodiodos de campo de deriva lateral.

30 Mediante el empleo del concepto de acuerdo con la invención empleando solo un pulso de láser es posible llevar a cabo la medición de la distancia. Por este motivo una energía de láser necesaria puede reducirse a la mitad en comparación con el estado de la técnica, y al mismo tiempo puede duplicarse la velocidad de medición. Como consecuencia tiene lugar una correlación posible óptimamente de valores de medición de distancia y de normalización (reflectividad, debilitamiento debido a la distancia), por lo que el concepto de acuerdo con la invención también es adecuado para escenarios de intensa variación en el tiempo, por ejemplo, objetos 104 de medición de movimiento muy rápido.

Ya dentro de la estructura 400 de píxel la luz de fondo E_{amb} puede captarse en el tercer intervalo 816 de control casi al mismo tiempo con el pulso de radiación reflejado y a continuación sustraerse de la señal útil, dado que el tiempo muerto ($t_4 t_5$) entre el segundo intervalo 814 de control y el tercer intervalo 816 de control es muy reducido, es decir en el orden de magnitud de una duración de pulso T_{pulso} . También esto aumenta la velocidad de medición. Sin embargo no es absolutamente necesario recurrir a la tercera compuerta TX_3 de transferencia y a la tercera difusión flotante FD_3 para detectar en el primer tercer intervalo 816 de control la luz E_{amb} de fondo. Según otro ejemplo de realización las tensiones aplicadas en las capacidades de capa de barrera de las dos difusiones flotantes FD_1 y FD_2
45 también podrían leerse directamente tras el primer y segundo intervalo 810, 814 de control, de modo que tras una breve fase de reinicio en el tercer intervalo 816 de control se controla o la primera o segunda compuerta TX_1 , TX_2 de transferencia para transferir portadores de carga generados mediante la luz E_{amb} de fondo hacia la correspondiente difusión FD_1 o FD_2 flotante que se evalúa después en una fase de lectura adicional. En este ejemplo de realización son necesarias por lo tanto únicamente tres compuertas TX_1 , TX_2 y TX_4 de transferencia (para la "aspiración"), lo que no obstante va en detrimento de la velocidad de medición alcanzable frente a formas de realización preferidas con cuatro compuertas de transferencia.

Mediante la separación de nodos de detección y de lectura el ruido de reinicio en ejemplos de realización no depende de la superficie 402 fotoactiva y puede reducirse notablemente por consiguiente en caso de difusiones flotantes seleccionadas pequeñas. Esta ventaja es importante especialmente en la utilización de zonas fotoactivas de gran superficie.

Mediante la "aspiración" permanente de tiempos muertos 822, 824, 826 situados durante el primer, segundo y tercer intervalo de control portadores de carga generados mediante iluminación de fondo se evita que se falsifiquen las carga situadas en las capacidades de evaluación de las difusiones flotantes FD_n ($n=1,2,3$) hasta el intervalo 828 de lectura mediante portadores de carga liberados de la iluminación de fondo. Esto permite resultados de medición

esencialmente más exactos en comparación con el estado de la técnica.

Por lo demás el concepto de acuerdo con la invención permite la posibilidad de enésimas acumulaciones de carga ya dentro de las difusiones flotantes de la estructura de píxel. Es decir, el desarrollo de pulsos de radiación representado en la figura 8 e intervalos de control durante la integración 804 de carga ToF puede repetirse enésimas veces, de modo que al final del intervalo 804 de tiempo en las capacidades de lectura está presente en cada caso al menos de modo aproximado la cantidad de carga enésima. Por ello la magnitud del ruido de reinicio puede minimizarse y aumentarse la zona dinámica así como la relación señal-ruido.

- 5
- 10 Aunque algunos aspectos de la presente invención se han descrito en relación con un dispositivo se entiende que estos aspectos también representan una descripción del procedimiento correspondiente, de modo que un bloque o un elemento constructivo de un dispositivo también ha de entenderse como una etapa de procedimiento correspondiente o como una característica de una etapa de procedimiento. Por analogía aspectos que se han descrito en relación con una o como una etapa de procedimiento representan también una descripción del bloque correspondiente o detalles o características de un dispositivo correspondiente.
- 15

Según requisitos de implementación determinados pueden implementarse ejemplos de realización de la invención en hardware o software. La implementación puede llevarse a cabo empleando un medio de almacenamiento digital, por ejemplo un disquete, un DVD, un disco Blu-ray, un CD, un ROM, una memoria PROM, EPROM, EEPROM o una memoria flash, un disco duro u otra memoria magnética u óptica sobre el que estén almacenadas señales de control legibles electrónicamente que pueden interactuar o interactúan con un sistema informático programable de tal modo que se ejecute el procedimiento respectivo. Por lo tanto el medio de almacenamiento digital puede ser legible por ordenador. Algunos ejemplos de realización según la invención comprenden por tanto un soporte de datos que presenta señales de control legibles electrónicamente que son capaces de interactuar con un sistema informático programable de tal modo que se lleva a cabo uno de los procedimientos descritos en la presente memoria.

- 20
- 25

En general pueden implementarse ejemplos de realización de la presente invención como producto de programa informático con un código de programa, siendo el código de programa eficaz en el sentido de que lleva a cabo uno de los procedimientos cuando el producto de programa informático se ejecuta en un ordenador o microcontrolador. El código de programa puede estar almacenado, por ejemplo, también sobre un soporte legible en máquina.

- 30

REIVINDICACIONES

1. Estructura (400) de píxel para la medición óptica de la distancia con las siguientes características:

5 un sustrato (302) semiconductor;
 una zona (402) fotoactiva que está integrada sobre el sustrato (302) para generar portadores de carga como respuesta a la radiación que incide sobre la zona (402) fotoactiva;
 un terminal (410) de potencial de referencia para un potencial de referencia que actúa como cavidad de portador de carga;
 10 una pluralidad de al menos cuatro capacidades (408; FDn) de evaluación en forma de zonas de difusión flotante, que están dispuestas a los lados distanciadas de un borde de la zona fotoactiva alrededor de la zona fotoactiva;
 una pluralidad de al menos cuatro compuertas (404; TXn) de transferencia en forma de condensadores MOS, que están configuradas para transportar los portadores de carga generados desde la zona (402) fotoactiva, estando configuradas las compuertas de transferencia para transportar los portadores de carga generados desde la zona (402) fotoactiva hacia una capacidad de evaluación respectiva; y
 15 en donde las capacidades de evaluación en cada caso pueden acoplarse a través de un transistor (RST FDn) de restablecimiento con el potencial de referencia; y
 un circuito (406) de control que está configurado para controlar cíclicamente en un primer ciclo
 20 una primera (404-1; TX1) de las cuatro compuertas de transferencia durante un primer intervalo (810) de control sincronizado con un pulso (808) de radiación de una fuente de radiación de modo que pueden transportarse primeros portadores de carga generados durante el primer intervalo (810) de control desde la zona fotoactiva (402) hacia una primera capacidad (408-1; FD1) de evaluación,
 controlar una segunda (404-2; TX2) de las cuatro compuertas de transferencia durante un segundo intervalo (814) de control sincronizado con un pulso (808) de radiación de una fuente de radiación fuera del primer intervalo de control, de modo que pueden transportarse segundos portadores de carga generados durante el segundo intervalo (814) de control desde la zona fotoactiva (402) hacia una segunda capacidad (408-2; FD2) de evaluación,
 25 controlar una tercera (404-3; TX3) de las cuatro compuertas de transferencia durante un tercer intervalo (816) de control situado fuera del primer y segundo intervalo de control, de modo que pueden transportarse terceros portadores de carga generados durante el tercer intervalo (816) de control desde la zona fotoactiva (402) hacia una tercera capacidad (408-3; FD3) de evaluación, y
 controlar permanentemente la compuerta adicional (404-4; TX4) de las cuatro compuertas de transferencia durante un tiempo (822; 824; 826) fuera del primer, segundo y tercer intervalo de control para conectar la zona fotoactiva (402) con el terminal (410) de potencial de referencia,
 30 de modo que en cada momento durante el ciclo se controla al menos una de la pluralidad de las compuertas (404; TXn) de transferencia;
 en donde el circuito (406) de control está configurado para modificar de un ciclo a un ciclo siguiente el control de las compuertas de transferencia de modo que una cuarta de las cuatro capacidades de evaluación, hacia la cual pueden transportarse los portadores de carga generados desde la zona fotoactiva (402) a través de la compuerta adicional de las cuatro compuertas de transferencia, se emplea para la acumulación de portadores de carga durante el primer intervalo de control.

2. Estructura de píxel según la reivindicación 1, en la que el circuito de control está configurado de modo que el segundo intervalo (814) de control se une directamente al primer intervalo de control.

3. Estructura de píxel según la reivindicación 2, en donde el circuito (406) de control está configurado para controlar la pluralidad de compuertas (404; TXn) de transferencia de tal modo que el primer, segundo y tercer intervalo (810; 814; 816) de control corresponde en cada caso a un múltiplo de una duración (T_{puls}) de pulso del pulso de radiación, dependiendo de un retardo (T_d) que va a esperarse de un pulso de radiación reflejado por el objeto (104) de medición.

4. Estructura de píxel según la reivindicación 2, en donde el circuito (406) de control está configurado para controlar la pluralidad de compuertas (404; TXn) de transferencia de tal modo que el primer intervalo (810) de control discurre en paralelo en el tiempo al pulso (808) de radiación de la fuente de radiación y el primer, segundo y tercer intervalo (810; 814; 816) de control en cada caso se corresponden a la duración de pulso (T_{puls}) del pulso de radiación.

5. Estructura de píxel según una de las reivindicaciones 2 a 4, que además presenta un circuito de evaluación, que está acoplado con las capacidades (408; FDn) de evaluación y que está configurado para determinar una distancia (d) respecto al objeto (104) de medición basándose en

$$d = \frac{c}{2 Q_{FD,1} + Q_{FD,2} - 2Q_{FD,3}} T_{pulso} (Q_{FD,2} - Q_{FD,3})$$

, en donde c significa la velocidad de luz, $Q_{FD,1}$, cargas acumuladas durante el primer intervalo (810) de control sobre la primera capacidad (408-1; FD1) de evaluación, $Q_{FD,2}$ cargas acumuladas durante el segundo intervalo (814) de control sobre la segunda capacidad (408-2; FD2) de evaluación, $Q_{FD,3}$ cargas acumuladas durante el tercer intervalo (816) de control sobre la tercera capacidad (408-3; FD3) de evaluación y T_{pulso} la duración de pulso del pulso de radiación.

5

6. Estructura de píxel según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las capacidades (408-n) de evaluación acopladas con compuertas (404; TXn) de transferencia están formadas en cada caso por zonas (FDn) n dopadas de difusión flotante en el sustrato semiconductor.

10

7. Estructura de píxel según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las capacidades (408-n) de evaluación acopladas con las compuertas (404; TXn) de transferencia están acopladas en cada caso a través de un transistor (RST FDn) de restablecimiento con el potencial (Φ_{REF}) de referencia para cargar las capacidades de evaluación en cada caso durante un intervalo de restablecimiento en el potencial (Φ_{REF}) de referencia.

15

8. Estructura de píxel según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la zona (402) fotoactiva se forma mediante una compuerta fotoeléctrica (PG), que comprende una primera capa (314) de polisilicio sobre una capa (308) de óxido de silicio por encima de un sustrato semiconductor (306).

20

9. Estructura de píxel según una de las reivindicaciones anteriores, en donde las compuertas (404; TXn) de transferencia están formadas en cada caso por una pila de capas de una capa (316; 318) de polisilicio por encima de una capa (502) de óxido-nitruro-óxido sobre un sustrato semiconductor, y en donde la capa (316; 318) de polisilicio y la capa (502) de óxido-nitruro-óxido solapan parcialmente una capa (314) de polisilicio de una compuerta fotoeléctrica (PG) de la zona fotoactiva.

25

10. Estructura de píxel según una de las reivindicaciones anteriores, en donde en el primer ciclo la cavidad (410) de portador de carga se forma mediante una zona (408-4; FD4) de difusión flotante acoplada con el potencial (Φ_{REF}) de referencia que está asociada a la compuerta (404-4; TX4) de transferencia adicional, de modo que durante todo el tiempo (822; 824; 826) fuera de los intervalos (810; 814; 816) de control de las al menos tres compuertas de transferencia pueden salir portadores de carga desde la zona fotoactiva (402) a través de la compuerta (404-4; TX4) de transferencia adicional en la dirección del potencial (Φ_{REF}) de referencia.

30

11. Sistema para la medición óptica de la distancia con las siguientes características:
 una fuente (102) de radiación para enviar un pulso de radiación en la dirección de un objeto (104) de medición;
 una estructura (400) de píxel según una de las reivindicaciones anteriores; y
 una unidad de sincronización para la sincronización de la fuente (102) de radiación y del circuito (406) de control de la estructura (400) de píxel, de modo que el circuito de control controla las compuertas (404; TXn) de transferencia, de tal modo que los intervalos (810; 814; 816) de control de las compuertas de transferencia dependen del pulso de radiación.

35

40

12. Procedimiento para la medición óptica de la distancia por medio de una estructura (400) de píxel, que comprende un sustrato semiconductor (302), una zona fotoactiva (402), que está integrada sobre el sustrato (302) para generar portadores de carga como respuesta a la radiación que incide sobre la zona fotoactiva (402), un terminal (410) de potencial de referencia para un potencial de referencia que actúa como cavidad de portador de carga, una pluralidad de al menos cuatro capacidades (408; FDn) de evaluación en forma de zonas de difusión flotante que están dispuestas distanciadas a los lados de un borde de la zona fotoactiva alrededor de la zona fotoactiva, y una pluralidad de al menos cuatro compuertas (404; TXn) de transferencia en forma de condensadores MOS, que están configuradas para transportar los portadores de carga generados desde la zona (402) fotoactiva hacia una capacidad de evaluación respectiva, pudiendo acoplarse las capacidades de evaluación en cada caso a través de un transistor (RST FDn) de restablecimiento con el potencial de referencia; en donde el procedimiento presenta las siguientes etapas, que se llevan a cabo cíclicamente por cada ciclo:

50

55 control de una primera (404-1; TX1) de las cuatro compuertas de transferencia durante un primer intervalo (810) de control sincronizado con un pulso (808) de radiación de una fuente de radiación de modo que pueden transportarse primeros portadores de carga generados durante el primer intervalo (810) de control desde la zona fotoactiva (402) hacia una primera capacidad (408-1; FD1) de evaluación,
 control de una segunda (404-2; TX2) de las cuatro compuertas de transferencia durante un segundo intervalo (814) de control sincronizado con un pulso de radiación (808) de una fuente de radiación situado

60

fuera del primer intervalo de control, de modo que pueden transportarse segundos portadores de carga generados durante el segundo intervalo (814) de control desde la zona fotoactiva (402) a una segunda capacidad (408-2; FD2) de evaluación,

5 control de una tercera (404-3; TX3) de las cuatro compuertas de transferencia durante un tercer intervalo (816) de control situado fuera del primero y segundo intervalo de control, de modo que pueden transportarse terceros portadores de carga generados durante el tercer intervalo (816) de control desde la zona fotoactiva (402) hacia una tercera capacidad (408-3; FD3) de evaluación, y control permanente de la compuerta adicional (404-4; TX4) de las cuatro compuertas de transferencia durante un tiempo (822; 824; 826) fuera del primer, segundo y tercer intervalo de control anzusteuern, para conectar la zona (402) fotoactiva con el terminal (410) de potencial de referencia, de modo que en cada momento durante el ciclo se controla al menos una de la pluralidad de las compuertas (404; TXn) de transferencia;

10 modificar el control de las compuertas de transferencia de un ciclo a un ciclo siguiente, de modo que una cuarta de las cuatro capacidades de evaluación, hacia la cual pueden transportarse los portadores de carga generados desde la zona (402) fotoactiva a través de la compuerta adicional de las cuatro compuertas de transferencia, se emplea para la acumulación de portadores de carga durante el primer intervalo de control.

13. Procedimiento según la reivindicación 12, en donde las cuatro compuertas (404; TXn) de transferencia se controlan de tal manera que el primer intervalo (810) de control discurre en paralelo en el tiempo al pulso (808) de radiación de la fuente de radiación y, de modo que el primer, segundo y tercer intervalo (810; 814; 816) de control corresponden en cada caso a la duración (T_{pulso}) de pulso del pulso de radiación.

14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 12 a 13, en donde una distancia (d) respecto al objeto de medición se determina basándose en

$$d = \frac{c}{2 Q_{FD,1} + Q_{FD,2} - 2 Q_{FD,3}} T_{pulso}$$

25 , en donde c significa la velocidad de luz, $Q_{FD,1}$, cargas acumuladas durante el primer intervalo (810) de control sobre la primera capacidad (408-1; FD1) de evaluación, $Q_{FD,2}$ cargas acumuladas durante el segundo intervalo (814) de control sobre la segunda capacidad (408-2; FD2) de evaluación, $Q_{FD,3}$ cargas acumuladas durante el tercer intervalo (816) de control sobre la tercera capacidad (408-3; FD3) de evaluación y T_{pulso} la duración de pulso del pulso de radiación.

30 15. Programa informático para llevar a cabo las etapas de un procedimiento según una de las reivindicaciones 12 a 14, cuando el programa informático se ejecuta en un ordenador o microcontrolador.

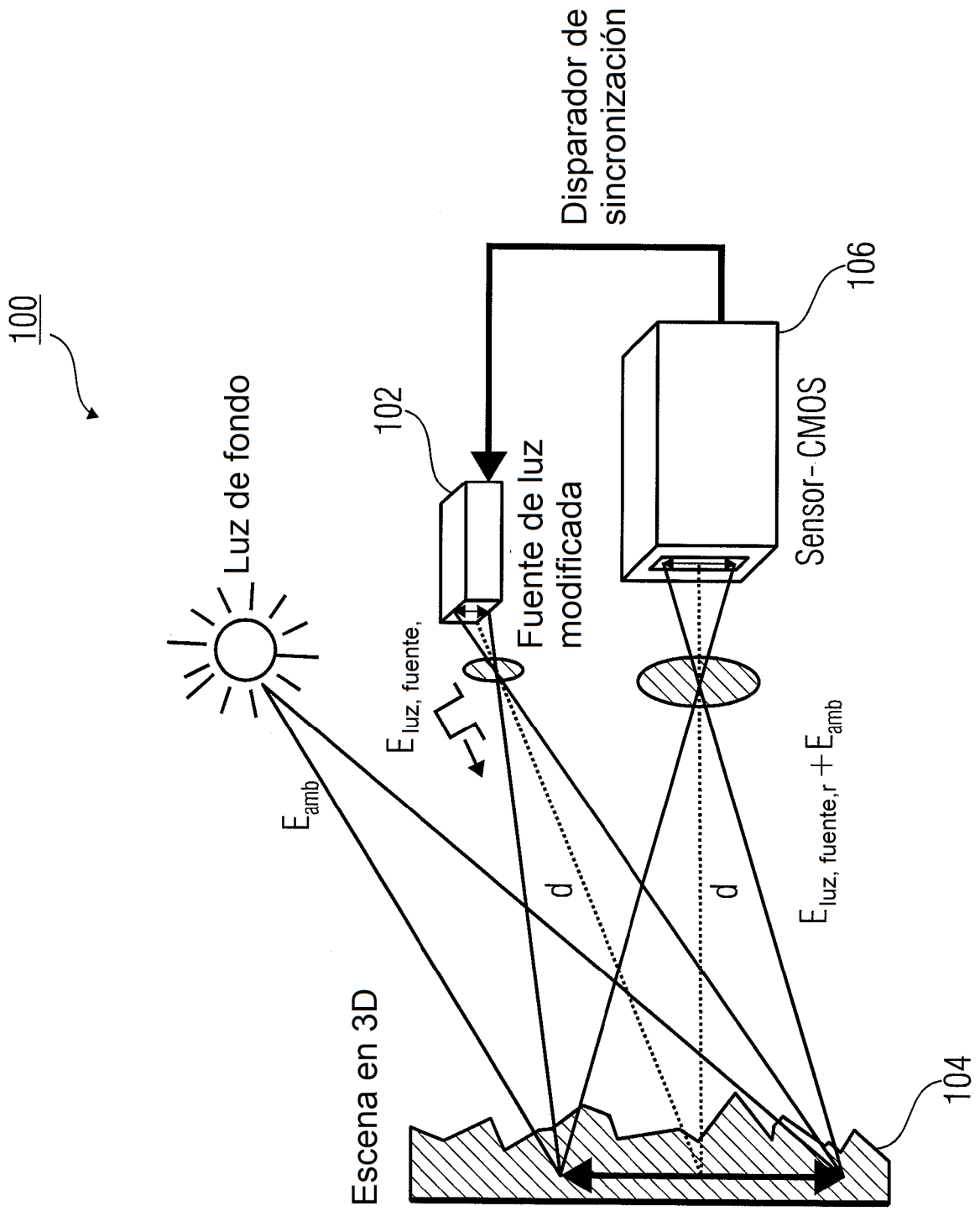


FIG 1

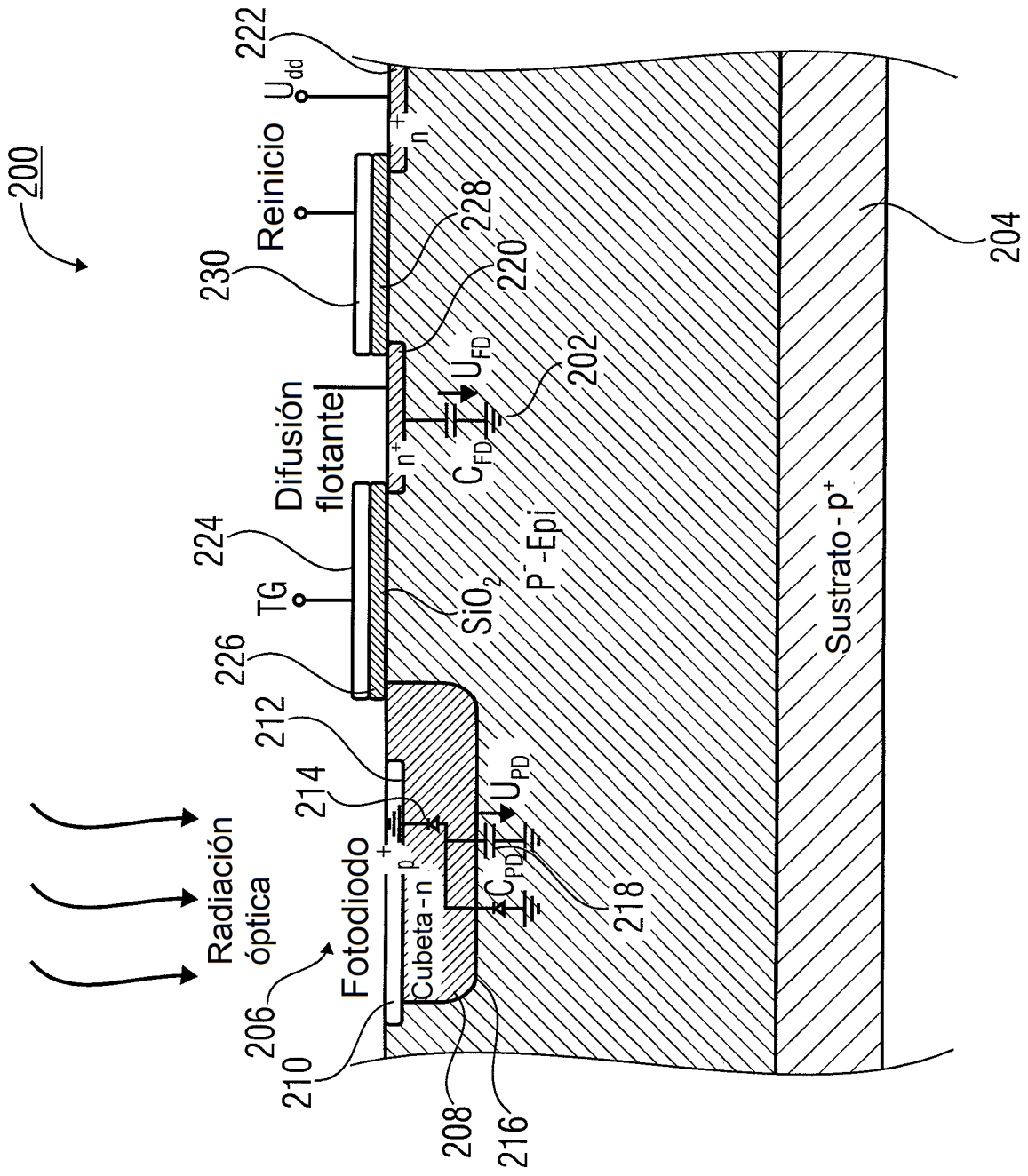


FIG 2

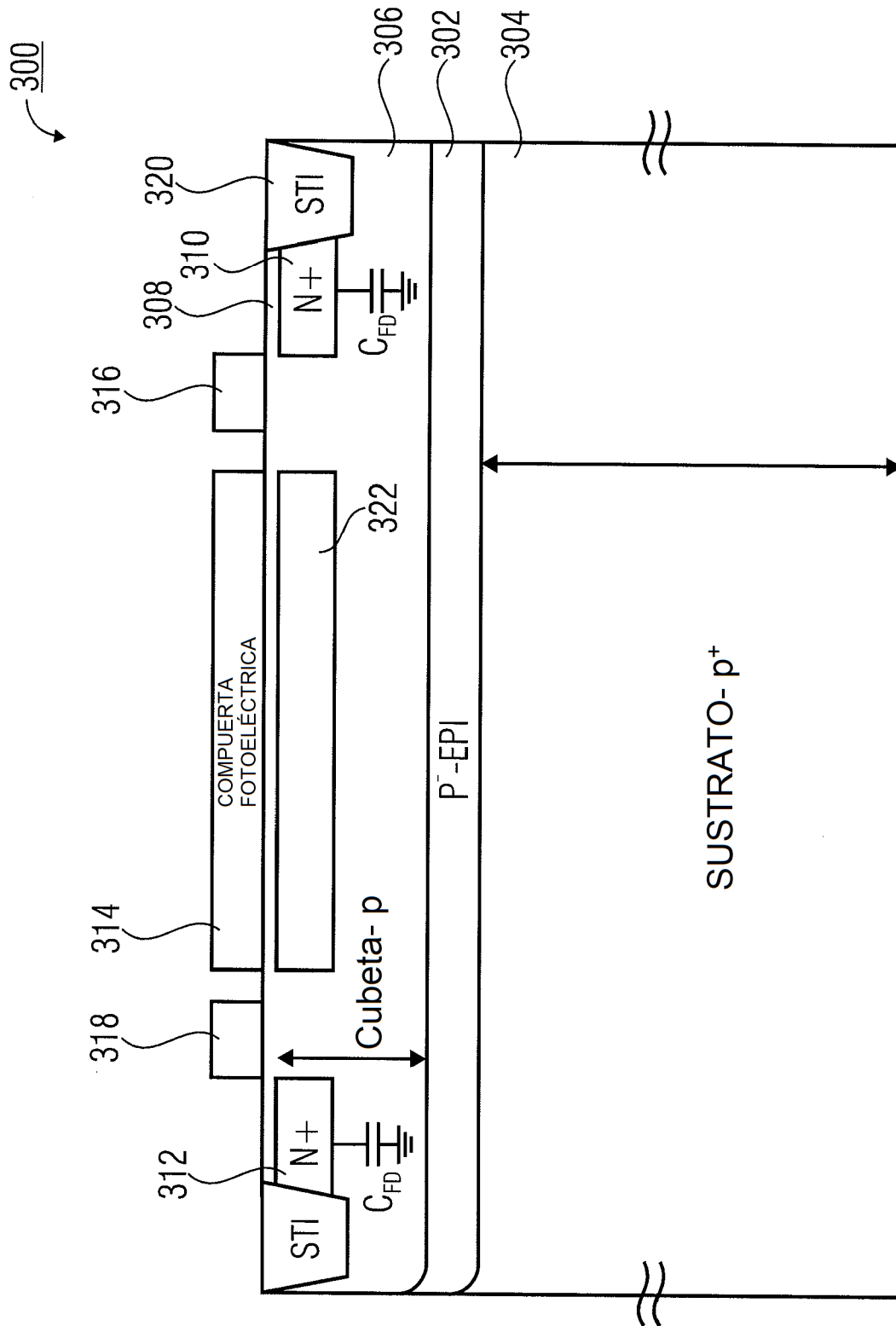


FIG 3

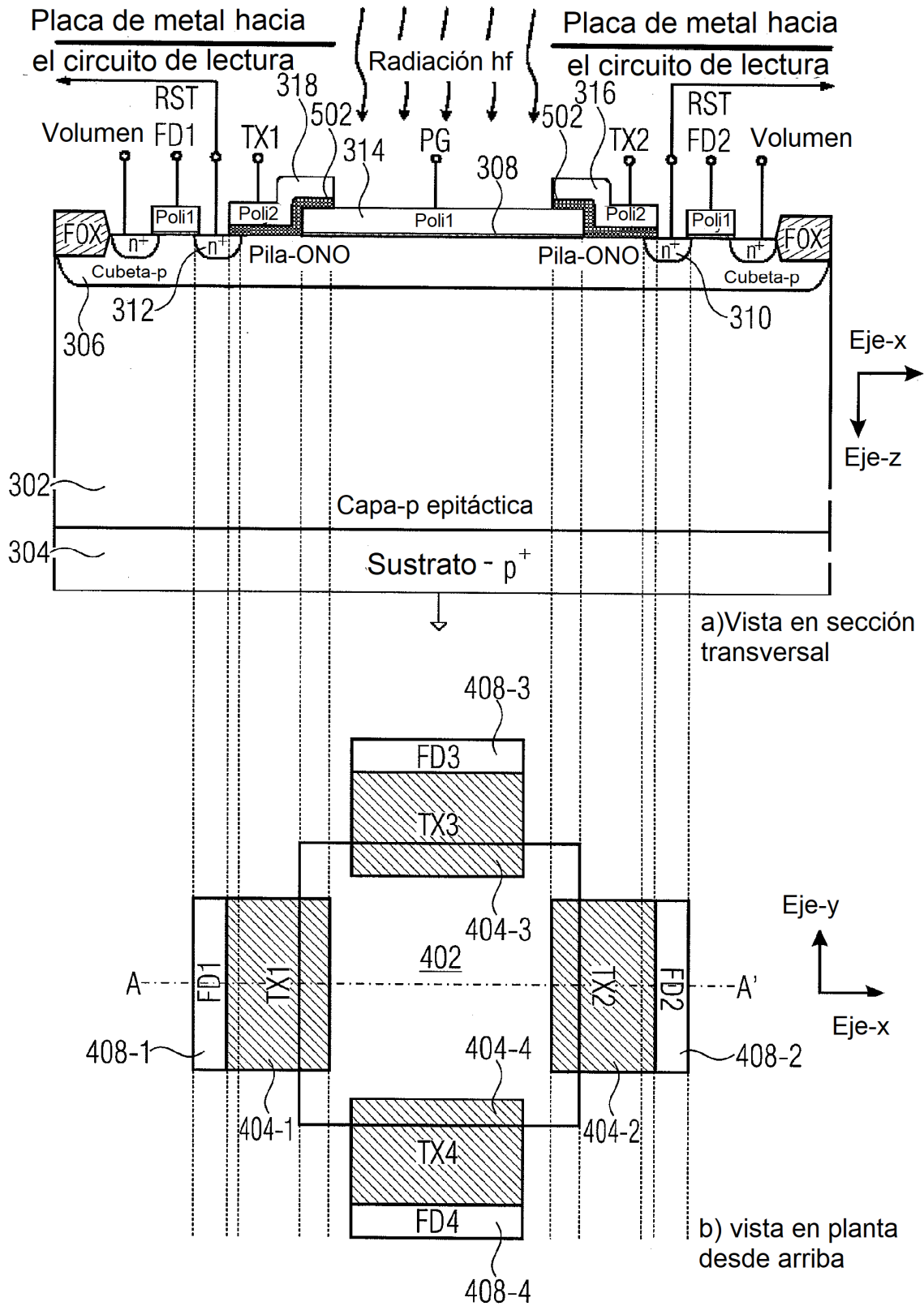


FIG 5

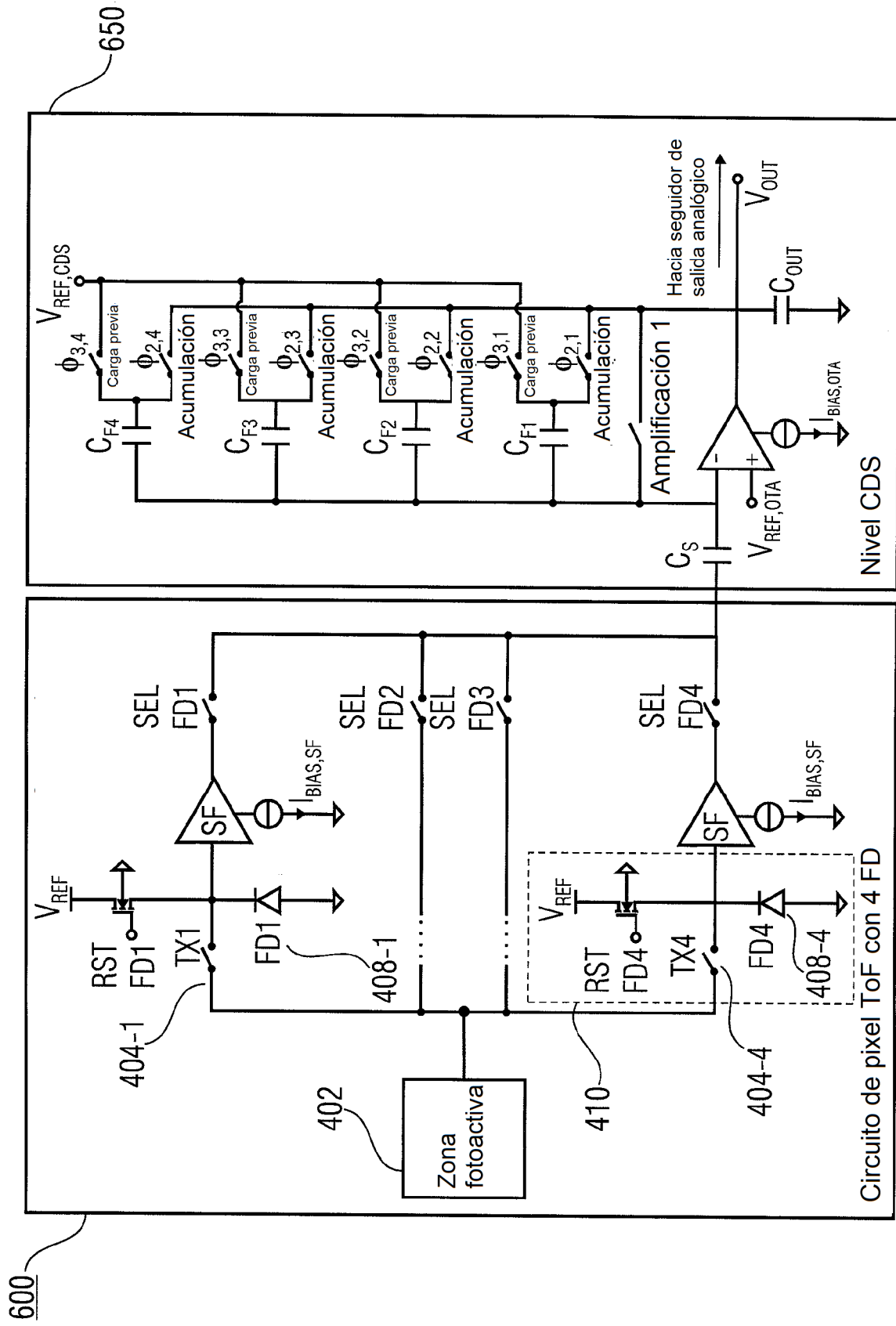


FIG 6

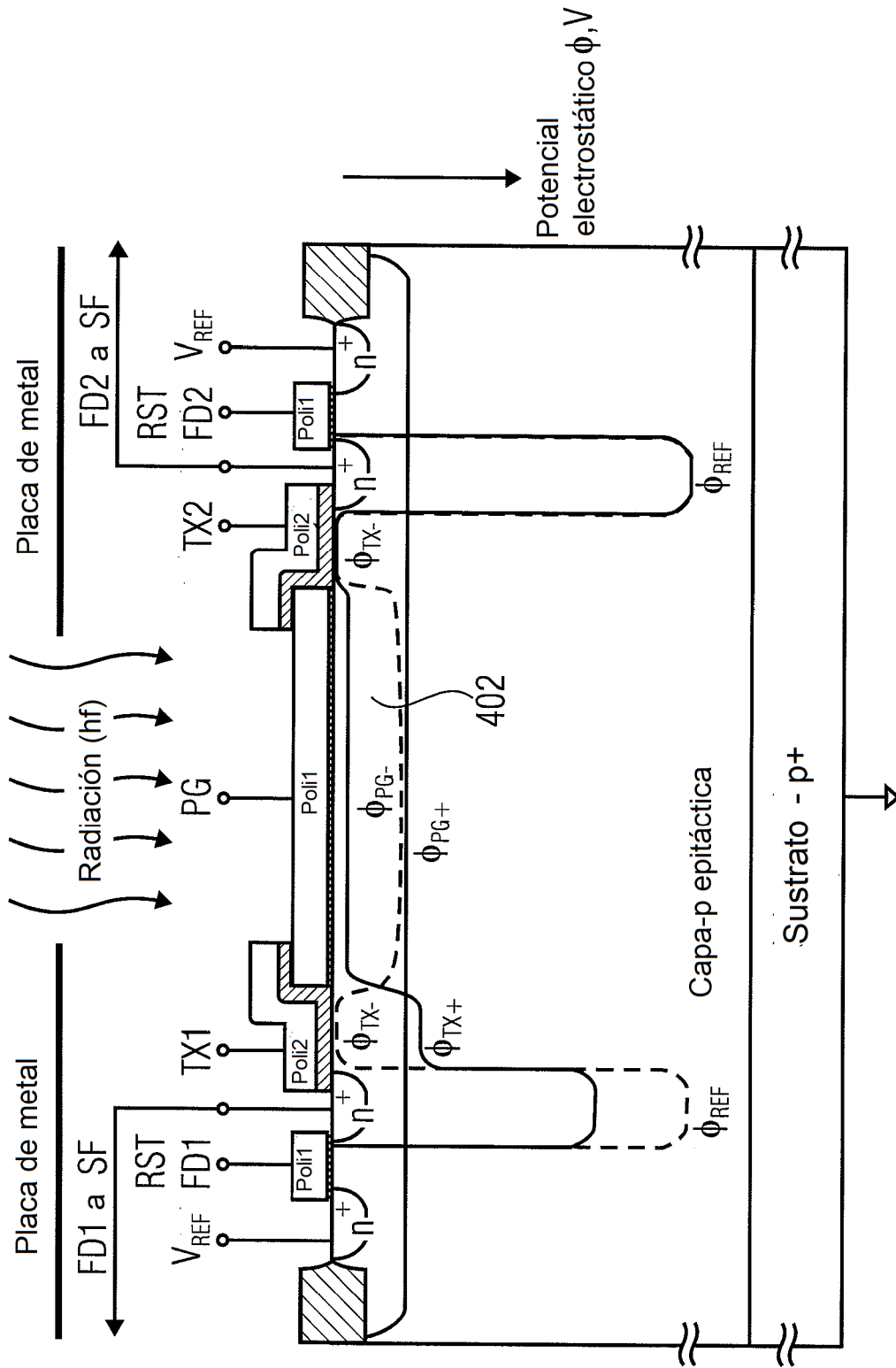


FIG 7

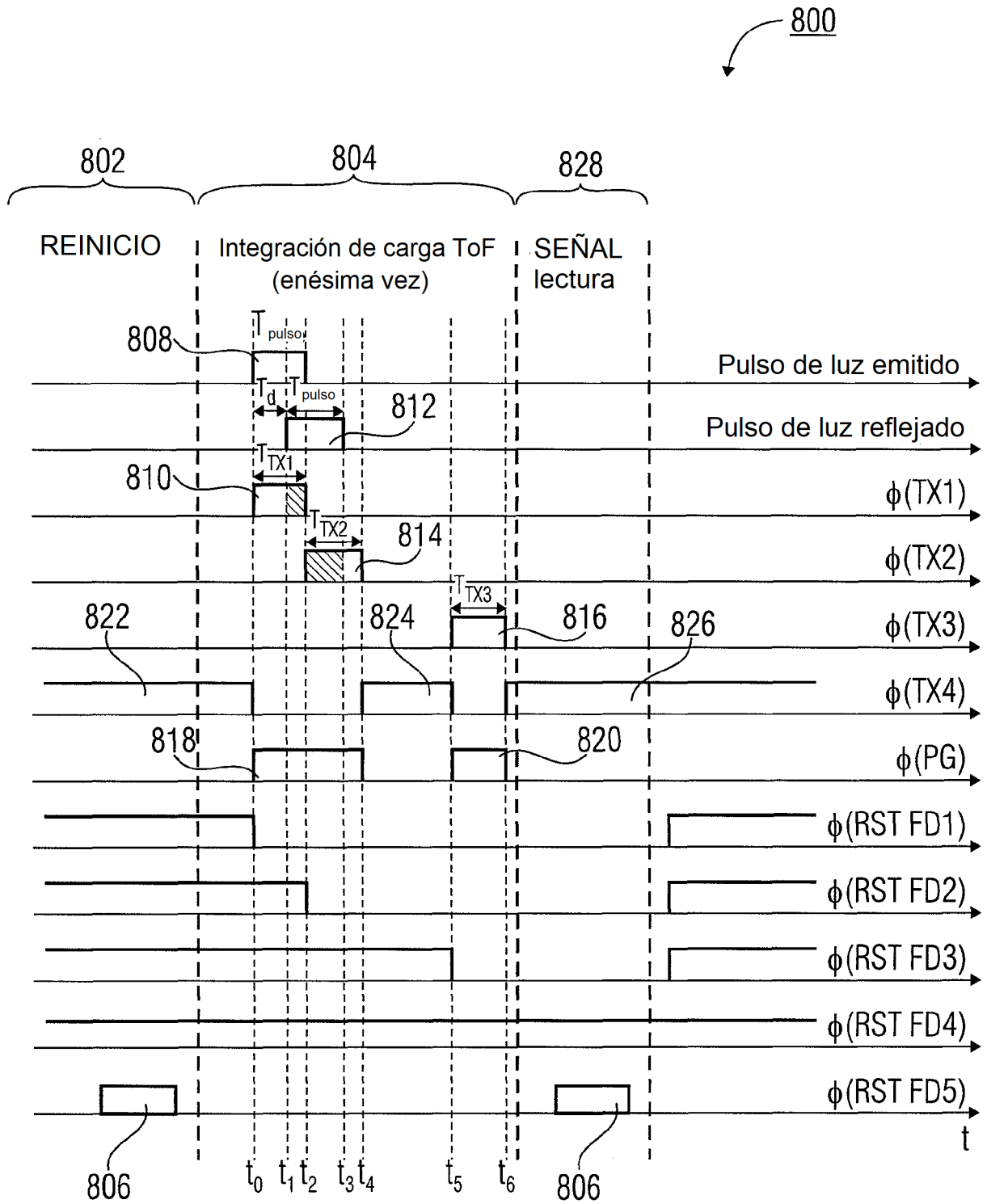


FIG 8