

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 378**

51 Int. Cl.:

H01L 27/146 (2006.01)

H01L 27/148 (2006.01)

G01S 7/00 (2006.01)

G01S 3/00 (2006.01)

H04N 5/00 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.09.2015 PCT/US2015/048775**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.03.2016 WO16040219**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.09.2015 E 15766343 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.06.2018 EP 3192100**

54 Título: **Píxel de resolución variable**

30 Prioridad:

08.09.2014 US 201414479381

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

24.10.2018

73 Titular/es:

**MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC
(100.0%)**

**One Microsoft Way
Redmond, WA 98052-6399, US**

72 Inventor/es:

**COHEN, DAVID;
TADMOR, EREZ y
YAHAV, GIORA**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 687 378 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

Píxel de resolución variable

5 ANTECEDENTES

Una cámara comprende habitualmente un fotodetector, tal como un fotodetector CCD (charge coupled device, dispositivo de carga acoplada) o CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, semiconductor complementario de óxido metálico), en el que la luz procedente de una escena representada en una imagen por la cámara es enfocada mediante la óptica de la cámara durante un periodo de exposición de la cámara para adquirir una imagen de la escena. El fotodetector comprende habitualmente una matriz de filas y columnas de píxeles sensibles a la luz que registran la luz enfocada por la óptica de la cámara sobre el fotodetector. Las cantidades de luz registrada por los píxeles son determinadas y utilizadas para proporcionar la imagen de la escena.

Un píxel en el fotodetector registra luz incidente procedente de una zona de la escena representada en imagen sobre el píxel mediante la óptica, acumulando carga eléctrica positiva o negativa proporcionada por pares electrón-hueco generados en el píxel por la luz incidente. La carga proporcionada por los electrones o los huecos de los pares electrón-hueco generados por la luz se denomina a menudo "fotocarga". Los pares electrón-hueco se pueden generar en una zona de agotamiento de un fotodiodo comprendido en el píxel y los electrones, o los huecos, son transferidos a una zona de almacenamiento del píxel adyacente al fotodiodo. Aplicar una tensión, denominada opcionalmente "tensión de transferencia", a una puerta "de transferencia" conductora que cubre la zona de almacenamiento transfiere los electrones o huecos desde el fotodiodo a la zona de almacenamiento. La fotocarga acumulada en las zonas de almacenamiento de los píxeles del fotodetector se convierte en tensión, y un conjunto de tensiones proporcionadas por los píxeles puede ser utilizado para producir una imagen de la escena. El conjunto de tensiones proporcionadas por el fotodetector se puede denominar una "trama" del fotodetector. La estructura del dopaje del material semiconductor comprendido en el fotodetector determina si los píxeles del fotodetector acumulan electrones o huecos generados por la luz incidente. Normalmente los píxeles acumulan electrones, convencionalmente denominados asimismo fotoelectrones, que se originan en los pares electrón-hueco para registrar la luz incidente.

El periodo de exposición de una cámara es generalmente controlable de manera que, para determinadas condiciones de representación en imagen, bajo las que una escena se representa en imagen, tal como la longitud focal de la óptica de la cámara y la luz disponible en la escena, los píxeles en el fotodetector de la cámara registren cantidades suficientes de luz para proporcionar una imagen satisfactoria de la escena. Por ejemplo, para que los píxeles en el fotodetector registren luz suficiente para proporcionar una imagen satisfactoria de una escena poco iluminada, la cámara se puede controlar ventajosamente para adquirir luz de la escena durante un periodo de exposición relativamente largo. Para representar en imagen una escena bien iluminada, puede ser suficiente un periodo de exposición relativamente corto.

Algunas cámaras de propósito especial pueden funcionar con restricciones especiales sobre los periodos de exposición. Por ejemplo, una cámara de rango tridimensional (3D) de tiempo de vuelo (TOF, time of flight) adquiere imágenes de rango de escenas que representa en imagen. Las imágenes de rango proporcionan distancias a características de las escenas. La cámara determina la distancia hasta una característica en una escena representada en imagen, determinando cuánto tarda la luz de la cámara en ir hasta la característica y volver a la cámara. Los tiempos de ida y vuelta se pueden determinar transmitiendo pulsos de luz para iluminar la escena, y determinando cuánto tarda la luz de los pulsos de luz transmitidos, reflejados por las características, en propagarse desde la cámara hasta las características y volver a la cámara. La cámara puede registrar luz procedente de los pulsos de luz transmitidos, que vuelve de la escena a la cámara, durante cada uno de una serie de diferentes periodos de exposición con el fin de adquirir datos para determinar el tiempo de ida y vuelta. Se puede requerir que los periodos de exposición cumplan restricciones relativamente estrictas sobre sus respectivas duraciones y su respectiva temporización con respecto a los tiempos de transmisión de los pulsos de luz.

Las duraciones de los periodos de exposición de la cámara son generalmente función de la sensibilidad de los píxeles del fotodetector de la cámara a la luz incidente. Un fotodetector que comprende píxeles caracterizados por una mayor sensibilidad a la luz puede generalmente funcionar para adquirir imágenes satisfactorias de una escena para intensidades de luz de la escena que son menores que las intensidades de luz ventajosas para representar en imagen la escena utilizando un fotodetector que tiene píxeles de menor sensibilidad a la luz. La sensibilidad de los píxeles a la luz incidente aumenta generalmente a medida que aumenta el tamaño del fotodiodo del píxel. Para un determinado periodo de exposición, un píxel que tiene un fotodiodo mayor acumula más fotocarga que un píxel que tiene un fotodiodo menor. Por lo tanto, un fotodetector que comprende fotodiodos mayores puede ser capaz de proporcionar imágenes satisfactorias de una escena a intensidades de luz menores que una cámara que comprende píxeles con fotodiodos menores. Sin embargo, a medida que se aumenta el tamaño de los fotodiodos de un fotodetector de una cámara, disminuye la resolución espacial del fotodetector y de la imagen que este produce.

El documento "CMOS Image Sensors with Multi-Bucket Pixels for Computational Photography", de Gordon Wan y otros, presenta detectores de imagen con píxeles multi-celda que permiten una exposición multiplexada en el

tiempo, en un intento de tratar el movimiento en la escena. Para implementar una memoria en píxel, o una celda, los detectores de imagen incorporan el concepto de CCD de fase virtual en un píxel representador de imágenes CMOS de 4 transistores estándar. Se proponen dos detectores de imagen con píxeles de doble y cuádruple celda: el detector de doble celda consiste en una matriz de 640H x 576V de píxel de 5,0 µm en tecnología CMOS de 0,11 µm, mientras que el detector de cuádruple celda comprende una matriz de 640H x 512V de píxel de 5,6 µm en tecnología CMOS de 0,13 µm.

COMPENDIO

Un aspecto de una realización de la invención se refiere a proporcionar un fotodetector, en lo que sigue denominado asimismo un "fotodetector multimodo", que comprende píxeles fotosensibles con resolución espacial controlada por tensión aplicada a los píxeles. En una realización, cada "píxel multimodo" comprende una zona sensible a la luz, tal como un fotodiodo o una fotopuerta, fabricada utilizando una tecnología adecuada, tal como tecnología CMOS o CCD. Cada zona sensible a la luz está asociada con una serie de zonas de almacenamiento de fotocarga para acumular fotocarga generada en la zona sensible a la luz. Cada zona de almacenamiento de fotocarga está asociada con sus propias puertas de transferencia y por lo menos con una microlente. Dicha por lo menos una microlente asociada con una determinada zona de almacenamiento dirige luz incidente sobre una microlente a una zona de la zona sensible a la luz, donde la zona sensible a la luz convierte luz en pares electrón-hueco, que está más próxima a la determinada zona de almacenamiento que la otra zona de almacenamiento del píxel. A continuación, en la descripción, para simplificar la presentación se supone que la zona sensible a la luz de un píxel es un fotodiodo.

Cuando se aplica simultáneamente a todas las puertas de transferencia de píxel una tensión de transferencia apropiada sustancialmente igual, los campos eléctricos generados en el fotodiodo por las tensiones de transferencia actúan para transferir la fotocarga generada en el fotodiodo a partir de luz incidente sobre una determinada microlente, sustancialmente solamente a la zona de almacenamiento asociada con dicha microlente. Cada zona de almacenamiento acumula fotocarga sensible a la cantidad de luz incidente sobre su microlente asociada, sustancialmente independiente de la cantidad de luz incidente sobre las otras microlentes en el píxel. Por lo tanto, el píxel funciona como una serie de píxeles menores, opcionalmente en número igual al número de microlentes. Los píxeles menores tienen dimensiones reducidas con respecto a las dimensiones originales del píxel y una inherente resolución espacial mejorada, que está determinada sustancialmente por las dimensiones de la microlente y las tensiones de transferencia aplicadas. Cuando funciona con la aplicación de una misma tensión de transferencia a todas las puertas de transferencia de un píxel, se puede decir que el píxel está funcionando en un modo de alta resolución espacial.

Cuando se aplica una tensión de transferencia solamente a una de las puertas de transferencia, la zona de almacenamiento asociada recibe fotocarga sustancialmente de todas las zonas del fotodiodo y el píxel funciona como un solo píxel, no dividido, con una resolución espacial determinada sustancialmente por sus dimensiones originales. Cuando funciona con la aplicación de una tensión de transferencia a solamente una puerta de transferencia de un píxel, se puede decir que el píxel está funcionando en un modo de baja resolución espacial. Para un píxel, según una realización de la invención, que funciona con una tensión de transferencia aplicada a más de una pero menos de la totalidad de sus puertas de transferencia, se puede decir que el píxel está funcionando en un modo de resolución espacial intermedia.

En una realización de la invención, el fotodiodo y las microlentes están configurados para presentar simetría de rotación en torno a un eje sustancialmente en el centro del fotodiodo y perpendicular al fotodetector. En una realización, la simetría de rotación es de orden mayor o igual que dos. Opcionalmente, el orden de la simetría de rotación es mayor o igual que cuatro. En una realización de la invención, un píxel multimodo comprende dos o más zonas de almacenamiento. En una realización, un píxel multimodo comprende cuatro zonas de almacenamiento.

Un aspecto de una realización de la invención se refiere a proporcionar una cámara que comprende el fotodetector y un controlador que controla tensiones aplicadas a las puertas de transferencia de los píxeles del fotodetector para controlar la resolución espacial del fotodetector y, con ello, la cámara. En una realización de la invención, el controlador controla la tensión en función de la luz disponible en una escena que la cámara representa en una imagen. Opcionalmente, el controlador controla el fotodetector y las tensiones de transferencia para determinar la intensidad de la luz que llega a cada uno de los píxeles y adquirir una imagen de contraste, en adelante denominada asimismo fotografía, de la escena. En una realización, la cámara es una cámara TOF-3D y el controlador controla el fotodetector y las tensiones de transferencia para conmutar la cámara a ON (activada) y OFF (desactivada) durante periodos de exposición apropiados para adquirir una imagen de rango de una escena y, opcionalmente, una fotografía de la escena.

En la descripción, salvo que se indique lo contrario, se entiende que los adverbios tales como "sustancialmente" y "aproximadamente" que modifican una condición o relación característica de uno o varios aspectos de una realización de la invención, significan que la condición o característica está definida dentro de tolerancias que son aceptables para el funcionamiento de la realización para una aplicación a la que está destinada. Salvo que se

indique lo contrario, se considera que la palabra "o" en la descripción y/o en las reivindicaciones es la "o" inclusiva y no la "o" exclusiva, e indica por lo menos uno, o cualquier combinación de los elementos que conecta.

5 Este compendio se proporciona para introducir de forma simplificada una selección de conceptos que se describen en mayor detalle a continuación en la descripción detallada. Este compendio no pretende identificar características clave o características esenciales de la materia reivindicada, ni está destinado a ser utilizado para limitar el alcance de la materia reivindicada.

10 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

10 A continuación, se describen ejemplos no limitativos de realizaciones de la invención, haciendo referencia a las figuras adjuntas que se enumeran después de este párrafo. Las características idénticas que aparecen en más de una figura se identifican generalmente con un mismo numeral en todas las figuras en las que aparecen. Una etiqueta que identifica un icono u otro signo gráfico que representa una determinada característica de una realización de la invención en una figura, se puede utilizar para referirse a dicha determinada característica. Las dimensiones de los componentes y de las características mostradas en las figuras se han elegido por comodidad y claridad de la presentación y no están necesariamente dibujadas a escala.

20 La figura 1A muestra esquemáticamente un fotodetector multimodo que comprende píxeles multimodo, según una realización de la invención;

La figura 1B muestra esquemáticamente líneas equipotenciales del campo eléctrico en un píxel multimodo mostrado en la figura 1A, cuando todas las puertas de transferencia en el píxel están electrificadas con una tensión de transferencia, según una realización de la invención;

25 Las figuras 1C-1F muestran esquemáticamente líneas equipotenciales del campo eléctrico en un píxel multimodo mostrado en la figura 1A, con diferentes puertas de transferencia en el píxel electrificadas con una tensión de transferencia, según una realización de la invención;

La figura 2A muestra esquemáticamente una cámara TOF-3D que comprende un fotodetector multimodo que representa en imagen una escena para adquirir una imagen de rango de la escena, según una realización de la invención;

30 Las figuras 2B-2E muestran gráficos que ilustran relaciones de funcionamiento y temporización de periodos de exposición del fotodetector multimodo en la cámara TOF-3D durante la representación en imagen de la escena mostrada en la figura 2A, según una realización de la invención;

La figura 2F muestra un gráfico de datos adquiridos por la cámara TOF-3D utilizada para proporcionar una imagen de rango de la escena, mostrada en la figura 2A, según una realización de la invención, y

35 La figura 3 muestra esquemáticamente un teléfono inteligente que comprende un fotodetector multimodo, según una realización de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

40 La figura 1A muestra esquemáticamente una vista superior simplificada de una parte de un fotodetector multimodo 20 que comprende píxeles 30, denominados asimismo píxeles multimodo 30, formados en un sustrato adecuado 31, según una realización de la invención. El fotodetector multimodo 20 puede ser un fotodetector CCD o CMOS, y se supone a modo de ejemplo que es un fotodetector CMOS que acumula fotoelectrones de pares electrón-hueco generados por luz incidente sobre los fotodiodos (ver más abajo) comprendidos en los píxeles 30 para registrar las cantidades de luz incidente en los píxeles. Las características de los píxeles 30 mostrados en la figura 1A y las figuras siguientes no están necesariamente a una misma profundidad en los píxeles. Las figuras muestran proyecciones esquemáticas de las características en una superficie superior, que se supone está situada en la página de las figuras, del fotodetector multimodo 20, que indican posiciones laterales relativas de las figuras.

50 Cada píxel multimodo 30 comprende opcionalmente un fotodiodo 32 y cuatro zonas de almacenamiento de fotoelectrones 41, 42, 43 y 44. Una puerta de transferencia 50 se superpone a cada zona de almacenamiento 41, 42, 43 y 44 y, opcionalmente, a una zona pequeña del fotodiodo 32. Los componentes del píxel 30 están formados opcionalmente sobre un sustrato 31 de silicio con dopaje n pesado (no mostrado) sobre el que está formada una capa epitaxial con dopaje p (no mostrada) El fotodiodo 32 comprende una zona de agotamiento generada en una unión de una zona con dopaje n formada en la capa epitaxial con dopaje p. Las zonas de almacenamiento 41, 42, 43 y 44 pueden ser partes de un canal soterrado con dopaje n. Las puertas de transferencia 50 que se superponen a las zonas de almacenamiento 41, 42, 43 y 44 están fabricadas utilizando cualquiera de diversos materiales conductores adecuados, tales como un metal, o polisilicio. Cada píxel 30 puede comprender circuitos de lectura 34 configurados para proporcionar una medida de la cantidad de fotocarga acumulada en cada zona de almacenamiento 41, 42, 43 y 44, independiente de la cantidad de fotocarga acumulada en las otras zonas de almacenamiento del píxel 30. Si bien el fotodiodo 32 se indica siendo rectangular, un fotodiodo en un píxel multimodo, según una realización de la invención, puede tener una forma que no sea rectangular. A modo de ejemplo, el fotodiodo puede tener una forma poligonal que no sea rectangular, o ser circular o irregular.

65 Una matriz de microlentes 60 cubre partes del fotodiodo 32. En la presente invención, la matriz de microlentes comprende una microlente 60 para cada zona de almacenamiento determinada 41, 42, 43 y 44, que dirige luz

incidente sobre la microlente a una zona del fotodiodo 32 más próxima a la zona de almacenamiento determinada que a otras zonas de almacenamiento. En la figura 1A, un icono de estrella 62 en una microlente 60 representa la zona focal de la microlente 60 a la que la microlente dirige la luz. En una realización de la invención, tal como se muestra en la figura 1A, la matriz de microlentes 60 está configurada ventajosamente de tal modo que la matriz cubre sustancialmente la totalidad del fotodiodo 32 y además puede cubrir áreas fuera del fotodiodo 32. Opcionalmente, todas las microlentes 60 son circulares, tienen el mismo diámetro y están conformadas en una configuración rotacionalmente simétrica de orden cuatro.

En una realización de la invención, un controlador (no mostrado en la figura 1A) controla las tensiones aplicadas al sustrato 31 y a las puertas de transferencia 50 para conmutar el fotodetector multimodo 20 a ON (activado) y OFF (desactivado) y dirige fotoelectrones generados en los píxeles 30 en respuesta a la luz incidente, a zonas de almacenamiento seleccionadas 41, ...,44 de los píxeles. En una realización de la invención, el controlador aplica una tensión, V_{ON} , para conmutar el fotodetector multimodo 20 a ON (activado), y una tensión V_{OFF} al sustrato 31 para conmutar el fotodetector multimodo 20 a OFF (desactivado).

V_{OFF} es una tensión más positiva que la tensión de transferencia aplicada por el controlador a una puerta de transferencia 50, y cuando se aplica al sustrato 31, los fotoelectrones en los píxeles multimodo 30 drenan al sustrato 31, no se acumulan en ninguna de las zonas de almacenamiento 41, ...,44 y se descargan. V_{ON} es una tensión, opcionalmente una tensión común a tierra, que es menos positiva que la tensión de transferencia " V_{G+} " aplicada por el controlador a una puerta de transferencia 50. Cuando el controlador aplica V_{ON} al sustrato 31 y una tensión de transferencia V_{G+} a una puerta de transferencia 50 asociada con una determinada zona de almacenamiento 41, ...,44 de un píxel 30, los fotoelectrones generados en el fotodiodo 32 no drenan al sustrato 31. La tensión de transferencia V_{G+} genera un campo eléctrico en el fotodiodo 32, que aplica una fuerza a los fotoelectrones del fotodiodo que hace que los fotoelectrones sean arrastrados hacia, y se acumulen en la zona de almacenamiento asociada con la puerta de transferencia. Manteniendo el sustrato 31 a la tensión V_{ON} y aplicando selectivamente tensiones de transferencia V_{G+} a las puertas 50, el controlador puede hacer funcionar el fotodetector multimodo 20 para proporcionar diferentes secuencias y tipos de periodos de exposición para una cámara que comprende el fotodetector multimodo, y proporciona a la cámara diferentes resoluciones espaciales para adquirir imágenes de una escena.

A modo de ejemplo, la figura 1B muestra esquemáticamente un píxel multimodo 30 funcionando en un modo de alta resolución espacial en el que el controlador electrifica simultáneamente con una misma V_{G+} todas las puertas de transferencia 50 comprendidas en el píxel. Un sombreado en una puerta de transferencia 50 indica que esa puerta de transferencia 50 está electrificada por una tensión de transferencia V_{G+} . La tensión de transferencia que electrifica cada puerta de transferencia 50 genera un campo eléctrico en el fotodiodo 32 que atrae fotoelectrones a la zona de almacenamiento desde una parte del fotodiodo 32 adyacente a la zona de almacenamiento. Una parte de un fotodiodo 32 desde la que una zona de almacenamiento 41, 42, 43, 44 acumula fotoelectrones cuando la puerta de transferencia 50 de la zona de almacenamiento está electrificada con una tensión de transferencia se puede denominar una "zona de recogida" del fotodiodo. Las líneas de contorno 70 en una zona de recogida de una zona de almacenamiento 41, 42, 43, 44 representan superficies equipotenciales eléctricas, y en adelante se denominan asimismo "superficies equipotenciales" o "líneas equipotenciales" del campo eléctrico generado. La dirección del campo eléctrico en una posición en el fotodiodo 32 es perpendicular a la superficie equipotencial 70 en dicha posición, y la intensidad del campo eléctrico es inversamente proporcional a la distancia entre equipotenciales en dicha posición. Las flechas "de campo" 71 en la figura 1B indican esquemáticamente la dirección de los campos eléctricos generados por las puertas de transferencia electrificadas 50 en varias posiciones del fotodiodo 32.

Para la configuración de las zonas de almacenamiento 41, ...,44, las puertas de transferencia 50 y la electrificación simultánea de las puertas de transferencia 50 mediante una misma tensión de transferencia V_{G+} mostrada en la figura 1B, las respectivas zonas de recogida de las zonas de almacenamiento 41, 42, 43, 44 son sustancialmente de la misma forma y tamaño, y los campos eléctricos en las zonas de recogida adyacentes son sustancialmente imágenes especulares entre sí. La zona de recogida de una zona de almacenamiento determinada 41, 42, 43, 44 comprende la parte del fotodiodo 32 que está situada bajo la microlente 60 asociada con la zona de almacenamiento determinada. Además, la zona de recogida de la zona de almacenamiento determinada puede comprender zonas del fotodiodo 32 que no están cubiertas por la microlente asociada pero que están más cerca de la microlente asociada que de las microlentes de otras zonas de almacenamiento. Las zonas del fotodiodo 32 más próximas a la microlente asociada 60 de una zona de almacenamiento determinada 41, 42, 43, 44 incluida en la zona de recogida de la zona de almacenamiento determinada se pueden denominar zonas periféricas de la zona de recogida.

Los fotoelectrones acumulados por cada zona de almacenamiento 41, 42, 43, 44 desde su zona de recogida asociada son generados por luz dirigida a la zona de recogida mediante la microlente 60 que cubre la zona de recogida y luz incidente sobre las zonas periféricas de la zona de recogida. Sin embargo, tal como se ha comentado anteriormente e indicado mediante la configuración de las microlentes 60 mostradas en las figuras 1A y 1B, las microlentes 60 cubren zonas del píxel 30 fuera del fotodiodo 32. Una microlente 60 asociada con una zona de almacenamiento determinada 41, 42, 43, 44 puede recoger y dirigir luz a la zona de recogida de la zona de almacenamiento desde una zona del píxel 30 que puede ser sustancialmente mayor que la zona de recogida. Cada zona de almacenamiento 41, 42, 43, 44 y su microlente asociada 60 comprendida en un píxel 30 puede por lo tanto

funcionar como un píxel independiente, menor que el píxel 30, y que tiene dimensiones determinadas sustancialmente por las dimensiones de la microlente asociada.

5 La figura 1C muestra esquemáticamente un píxel 30 que funciona en un modo de baja resolución espacial, en el que el controlador aplica una tensión V_{ON} al sustrato 31 y una tensión de transferencia V_{G+} solamente a la puerta de transferencia 50 asociada con la zona de almacenamiento 41. Las puertas de transferencia 50 asociadas con las zonas de almacenamiento 42, 43, 44 pueden estar a tensión flotante o electrificadas a V_{ON} . La tensión de transferencia V_{G+} aplicada a la puerta de transferencia 50 asociada con la zona de almacenamiento 41 genera un campo eléctrico que actúa para desplazar a la zona de almacenamiento 41 los fotoelectrones proporcionados por los pares electrón-hueco generados sustancialmente en cualquier lugar del fotodiodo 32. Las líneas equipotenciales 70 indican la configuración del campo eléctrico generado, y las flechas de campo 71 indican esquemáticamente la dirección del campo eléctrico en varias posiciones del fotodiodo 32. En el modo de baja resolución, el píxel multimodo 30 tiene una resolución espacial determinada sustancialmente por las dimensiones originales del píxel, y la intensidad de la luz incidente en el píxel se puede determinar en función de una medición de la cantidad de fotoelectrones acumulados en la zona de almacenamiento 41, opcionalmente proporcionada por circuitos de lectura 34.

20 Se debe observar que funcionando en el modo de baja resolución espacial mostrado esquemáticamente en la figura 1C, el píxel multimodo 30 proporciona una resolución espacial peor, aproximadamente en un factor cuatro, que la resolución espacial proporcionada por el píxel funcionando en el modo de alta resolución espacial. Sin embargo, para una misma intensidad de la luz incidente y un mismo periodo de exposición, un píxel 30 funcionando en el modo de baja resolución espacial acumula aproximadamente cuatro veces más fotoelectrones en una zona de almacenamiento 41, 42, 43 o 44 utilizada para almacenar fotoelectrones generados en el fotodiodo 32, que el píxel cuando funciona en el modo de alta resolución. Por lo tanto, si el número mínimo concreto de fotoelectrones acumulados en una zona de almacenamiento 41, 42, 43 o 44 está caracterizado por la magnitud ventajosa del ruido de disparo, el píxel 30 proporciona el número mínimo para una intensidad de luz incidente que es aproximadamente cuatro veces menor que la intensidad para la que el píxel proporciona el funcionamiento mínimo en el modo de alta resolución espacial. Como resultado, el fotodetector multimodo 20 se puede hacer funcionar ventajosamente en el modo de baja resolución espacial cuando se utiliza para representar en imagen una escena en condiciones de baja iluminación.

35 Las figuras 1D, 1E y 1F muestran esquemáticamente el píxel 30 funcionando en un modo de baja resolución espacial similar al modo de baja resolución espacial mostrado en la figura 1C, pero con una tensión de transferencia V_{G+} aplicada a las puertas de transferencia 50 asociadas respectivamente con las zonas de almacenamiento 42, 43 y 44.

40 A modo de ejemplo numérico, el fotodetector multimodo 20 puede comprender píxeles multimodo 30 caracterizados por un paso menor o igual que aproximadamente $15\ \mu\text{m}$ (micras). Cada píxel multimodo 30 puede comprender un fotodiodo 32 que tiene una dimensión lateral máxima igual a aproximadamente $8\ \mu\text{m}$. Para píxeles 30 que tienen pasos de aproximadamente $10\ \mu\text{m}$ o aproximadamente $7\ \mu\text{m}$, el fotodiodo 32 puede tener una dimensión lateral máxima de aproximadamente $6\ \mu\text{m}$ o $4,5\ \mu\text{m}$ respectivamente. Un factor de llenado del píxel multimodo, según una realización de la invención, puede ser igual o mayor de aproximadamente el 70 %.

45 La figura 2A muestra esquemáticamente una cámara TOF-3D 120 que comprende un fotodetector multimodo 20 similar al fotodetector multimodo 20 mostrado en las figuras 1A-1F, que funciona para adquirir una imagen de rango de una escena 130, según una realización de la invención. La escena 130 se muestra esquemáticamente con objetos 131 y 132.

50 La cámara TOF-3D 120, que está representada muy esquemáticamente, comprende un sistema de lentes, representado por una lente 121 que representa en imagen la escena 130 en el fotodetector multimodo 20. Opcionalmente, la cámara TOF-3D comprende una fuente de luz 126, tal como, por ejemplo, un láser o un LED, o una matriz de láseres y/o de LED, controlable para iluminar la escena 130 con pulsos de luz, opcionalmente IR (infrarroja). Un controlador 124 controla los pulsos de la fuente de luz 126 y la representación en imagen de la escena 130 mediante el fotodetector multimodo 20 con luz reflejada por las características de la escena a partir de los pulsos de luz emitidos por la fuente de luz 126. El controlador 124 aplica opcionalmente tensiones V_{ON} y V_{OFF} para conmutar el fotodetector multimodo a ON (activado) y OFF (desactivado), respectivamente. El controlador puede aplicar selectivamente tensiones de transferencia V_{G+} a las puertas de transferencia 50 asociadas con diferentes zonas de almacenamiento de fotocarga 41, 42, 43 y 44 para representar en imagen la escena 130 en el fotodetector multimodo 20 durante diferentes periodos de exposición. Los diferentes periodos de exposición están temporizados en relación con los tiempos en que la fuente de luz 126 transmite pulsos de luz para iluminar la escena 130 con el fin de adquirir datos para determinar distancias a características en la escena 130 y adquirir la imagen de rango de la escena.

65 En una realización de la invención, para adquirir los datos y con ello las distancias a las características de la escena 130, el controlador 124 pone a ON (activado) el fotodetector multimodo 20 y controla la fuente de luz 126 para iluminar la escena 130 con un tren de pulsos de luz representado esquemáticamente en la figura 2A por un tren 140

de pulsos rectangulares 141. Las características de la escena 130 reflejan la luz del tren de pulsos de luz transmitidos 140, de vuelta a la cámara TOF-3D 120 en trenes de pulsos de luz reflejados. A modo de ejemplo, la figura 2A muestra esquemáticamente trenes de pulsos de luz reflejados 145 y 147 que comprenden respectivamente pulsos de luz 146 y 148 reflejados por las características A y B de los objetos 132 y 131, respectivamente. Cada pulso de luz reflejado en un tren de pulsos de luz reflejados, tal como un pulso de luz reflejado 146 en el tren de pulsos de luz reflejados 145 o un pulso de luz reflejado 148 en el tren de pulsos de luz 147, tiene una forma y una anchura de los pulsos sustancialmente iguales a las de los pulsos de luz transmitidos 141. El periodo de repetición de los pulsos reflejados en un mismo tren de pulsos de luz reflejados es sustancialmente el mismo que el periodo de repetición de los pulsos de luz transmitidos 141 en un tren de pulsos de luz transmitidos 140. Los pulsos de luz 141, 146 y 148 pueden tener anchuras de pulso "τ", opcionalmente entre aproximadamente 10 y 30 ns (nanosegundos).

Siguiendo un retardo predeterminado después de la transmisión de cada pulso de luz transmitido 141, el controlador 124 aplica una configuración de tensiones al fotodetector multimodo 20 para determinar un periodo de exposición del fotodetector multimodo 20 durante el que el fotodetector multimodo 20 registra la luz en los pulsos de luz reflejados a partir de los pulsos de luz transmitidos, mediante las características de la escena 130. En una realización, el controlador 124 aplica una tensión de transferencia V_{G+} a una puerta de transferencia 50 asociada con, por lo menos, una zona de almacenamiento 41, 42, 43 o 44 y aplica tensiones V_{ON} y V_{OFF} al sustrato 31 (figura 1A) del fotodetector multimodo 20 para determinar la temporización y la duración del periodo de exposición. Durante el periodo de exposición, los fotoelectrones generados por la luz incidente sobre un píxel 30 del fotodetector multimodo 20 son arrastrados hacia, y se acumulan en por lo menos una zona de almacenamiento 41, 42, 43 o 44 del píxel para el que la puerta de transferencia 50 es electrificada por la tensión de transferencia.

La cantidad de luz que un píxel determinado 30 registra durante un periodo de exposición a partir de un pulso de luz reflejado, reflejado a partir del pulso de luz transmitido 141, mediante una característica de la escena 130 representada en imagen en el píxel determinado es sustancialmente proporcional a la convolución del periodo de exposición y el pulso de luz reflejado. La convolución es función del retardo predeterminado entre un tiempo de transmisión del pulso de luz transmitido 141 y el periodo de exposición, de la distancia desde la cámara TOF-3D 120 de la característica representada en la imagen, y de las formas del pulso de luz reflejado y del periodo de exposición.

En una realización de la invención, el controlador 124 controla el fotodetector multimodo 20 para registrar la luz en los pulsos de luz reflejados, reflejados por las características de la escena 130 durante periodos de exposición de tres tipos diferentes. Los gráficos 181, 182 y 183 de la figura 2B, la figura 2C y la figura 2D muestran respectivamente representaciones esquemáticas de pulsos de luz transmitidos por la fuente de luz 126 y periodos de exposición de los píxeles 30. Los gráficos muestran los tres tipos de periodos de exposición y las relaciones temporales entre los periodos de exposición y los pulsos de luz transmitidos 141.

El gráfico 181 mostrado en la figura 2B muestra un primer tipo de periodo de exposición que comprende opcionalmente periodos de exposición de dos partes, consecutivas, y se denomina un "periodo de exposición doble". El gráfico muestra esquemáticamente un pulso de luz transmitido 141, transmitido en un tiempo T_0 a lo largo de una línea del gráfico 191, identificada como "iluminación", la tensión aplicada por el controlador 124 a una puerta de transferencia 50 de una zona de almacenamiento 41, 42, 43 o 44 a lo largo de una línea de gráfico 192, y la tensión aplicada al sustrato 31 del fotodetector multimodo 20 a lo largo de una línea de gráfico 193, identificada como "sustrato". Para acumular fotoelectrones durante el periodo de exposición compuesto, el controlador 124 aplica opcionalmente una tensión de transferencia V_{G+} mostrada a lo largo de la línea de gráfico 192, solamente a las puertas de transferencia 50 asociadas con las zonas de almacenamiento 41 de los píxeles 30. La tensión de transferencia V_{G+} se puede aplicar antes de la transmisión del pulso de luz 141. Un recuadro 195 en la figura 2B muestra esquemáticamente un píxel 30 y una puerta de transferencia 50 asociada con la zona de almacenamiento 41 del píxel, distinguida mediante sombreado para indicar gráficamente que la tensión de transferencia V_{G+} se aplica a la puerta de transferencia 50 de solamente la zona de almacenamiento de fotocarga 41. La línea de gráfico 192 está asimismo identificada como 41- V_{G+} para indicar que solamente la puerta de transferencia 50 de la zona de almacenamiento 41 está electrificada con la tensión de transferencia V_{G+} . El controlador 124 aplica una tensión V_{OFF} al sustrato 31 antes de la transmisión del pulso de luz 141. Mientras se mantiene V_{OFF} sobre el sustrato 31, cualesquiera fotoelectrones producidos por la luz incidente sobre un fotodiodo 32 de un píxel 30 en el fotodetector multimodo 20 drenan al sustrato 31, y no son acumulados fotoelectrones por ninguna de las zonas de almacenamiento de los píxeles en el fotodetector multimodo.

Después de un tiempo de retardo T_1 , el controlador 124 aplica una tensión V_{ON} (línea de gráfico 193) al sustrato 31 del fotodetector multimodo 20 para registrar la luz durante una primera parte del periodo de exposición del doble periodo de exposición, y a continuación de nuevo en un tiempo de retardo T_4 durante una segunda parte del periodo de exposición del doble periodo de exposición. Opcionalmente, las partes del periodo de exposición tienen una duración igual a la del pulso de luz transmitido 141, y a modo de ejemplo, $T_4 - T_1$ puede ser mayor o igual que aproximadamente 6 ns y menor o igual que aproximadamente 30 ns. Durante cada una de las partes del periodo de exposición para las que el controlador 124 aplica V_{ON} al sustrato 31, los fotoelectrones generados en cualquier lugar del fotodiodo 32 de un píxel 30 mediante la luz de un pulso de luz reflejado a partir de un pulso de luz transmitido 141 son arrastrados hacia, y se acumulan en la zona de almacenamiento 41 del píxel. La cantidad de luz que la zona de almacenamiento 41 de un píxel determinado 30 acumula durante el doble periodo de exposición desde un

pulso de luz reflejado a partir del pulso de luz transmitido 131 mediante una característica de la escena 130 representada en imagen en el píxel determinado 30 es sustancialmente proporcional a la convolución del doble periodo de exposición y el pulso de luz reflejado. En una realización de la invención, el controlador 124 controla el fotodetector multimodo 20 para acumular fotoelectrones durante un doble periodo de exposición durante cada uno de la serie de pulsos de luz 141 en el tren de pulsos 140.

El gráfico 182 de la figura 2C muestra esquemáticamente un segundo tipo de periodo de exposición de los tres periodos de exposición, según una realización de la invención. Para el periodo de exposición del segundo tipo, el controlador 124 aplica una tensión de transferencia, opcionalmente, a solamente la puerta de transferencia 50 asociada con la zona de almacenamiento 42. En la figura 2C, la línea de gráfico 192 del gráfico 182 está identificada como 42- V_{G+} y un recuadro 195 muestra la puerta de transferencia 50 de la zona de almacenamiento 42 sombreada para indicar que solamente está electrificada con tensión de transferencia V_{G+} la puerta de transferencia 50 de la zona de almacenamiento 42. El controlador 124 aplica tensiones V_{ON} y V_{OFF} al sustrato 31 del fotodetector multimodo 20 (línea de gráfico 193) para iniciar el periodo de exposición del segundo tipo en un tiempo T_2 después de un tiempo T_0 en el que un pulso de luz 141 es transmitido para iluminar la escena 130. Opcionalmente, T_2 es posterior a T_1 en un tiempo de retardo ΔT_{12} y anterior a T_4 . A modo de ejemplo, ΔT_{12} puede ser igual o mayor que aproximadamente 2 ns y menor o igual que aproximadamente 10 ns. Durante el periodo de exposición del segundo tipo, los fotoelectrones generados por la luz incidente en un pulso de luz reflejado a partir del pulso de luz transmitido 141 (línea de gráfico 191) se acumulan en la zona de almacenamiento 42. En una realización de la invención, el controlador 124 controla el fotodetector multimodo 20 para acumular fotoelectrones durante un periodo de exposición del segundo tipo durante cada uno de la serie de pulsos de luz 141 en el tren de pulsos 140.

El gráfico 183 de la figura 2D muestra esquemáticamente el periodo de exposición del tercer tipo, de los tres periodos de exposición, según una realización de la invención. El periodo de exposición del tercer tipo es opcionalmente similar a la exposición del segundo tipo, pero comienza en un tiempo T_3 que puede ser anterior a T_4 y puede ser posterior a T_2 en un periodo de tiempo de ΔT_{23} . A modo de ejemplo, ΔT_{23} puede ser igual o mayor que aproximadamente 2 ns y menor o igual que aproximadamente 10 ns. Para el periodo de exposición del tercer tipo, el controlador 124 aplica una tensión de transferencia, opcionalmente, a solamente la puerta de transferencia 50 asociada con la zona de almacenamiento 43. En la figura 2D, la línea de gráfico 192 del gráfico 183 está identificada como 43- V_{G+} , y el recuadro 195 muestra la puerta de transferencia 50 de la zona de almacenamiento 43 sombreada para indicar que solamente está electrificada con la tensión de transferencia V_{G+} la puerta de transferencia 50 de la zona de almacenamiento 43. Durante el periodo de exposición del tercer tipo, los fotoelectrones generados por la luz incidente en un pulso de luz reflejado a partir del pulso de luz transmitido 141 se acumulan en la zona de almacenamiento 43. En una realización de la invención, el controlador 124 controla el fotodetector multimodo 20 para acumular fotoelectrones durante un periodo de exposición del tercer tipo durante cada uno de la serie de pulsos de luz 141 en el tren de pulsos 140.

En una realización de la invención, el controlador 124 controla el fotodetector multimodo 20 para representar en imagen una escena 130 durante un periodo de exposición en el que la escena no está iluminada con pulsos de luz, con el fin de determinar la cantidad de luz de fondo que llega a la cámara TOF-3D 120. Opcionalmente, el controlador 124 hace funcionar el fotodetector multimodo 20 tal como se muestra esquemáticamente en el gráfico 184 de la figura 2E, y aplica una tensión de transferencia V_{G+} solamente a la puerta de transferencia 50 de la zona de almacenamiento de fotocarga 44 para acumular fotoelectrones en la zona de almacenamiento 44 durante un periodo de exposición determinado por una tensión V_{ON} .

Después de la acumulación de fotoelectrones en las zonas de almacenamiento 41, 42, 43 y 44, el controlador 124 adquiere una trama del fotodetector multimodo 20 para adquirir tensiones que proporcionan medidas de cantidades de fotoelectrones acumulados en las zonas de almacenamiento 41, 42, 43 y 44 de cada píxel multimodo 30. El controlador 124 corrige en las cantidades medidas de fotoelectrones acumulados en las zonas de almacenamiento 41, 42 y 43 de cada píxel 30 los fotoelectrones acumulados en las zonas de almacenamiento debido a la luz de fondo, en función de la cantidad medida de fotoelectrones acumulados en la zona de almacenamiento 44 del píxel. Los valores corregidos para las zonas de almacenamiento 41, 42 y 43 del píxel 30 son proporcionales a las convoluciones de los pulsos de luz reflejados por una característica de la escena 130 representada en imagen en el píxel a partir de los pulsos de luz transmitidos 141 durante el doble periodo de exposición, y los periodos de exposición del segundo y del tercer tipo, respectivamente. El controlador 124 utiliza las medidas de las convoluciones para determinar la distancia hasta la característica desde la cámara TOF-3D 120.

Por ejemplo, las medidas corregidas para las zonas de almacenamiento 41, 42 y 43 para un píxel 30 en el que se representa en imagen la característica A del objeto 132 (figura 2A) proporcionan medidas de las convoluciones de los periodos de exposición doble, del segundo tipo y del tercer tipo con los pulsos de luz reflejados 146. El controlador 124 puede utilizar las medidas para determinar la distancia de la característica A desde la cámara TOF-3D 120.

A modo de ejemplo, sean C41, C42 y C43, respectivamente, representaciones de las convoluciones determinadas por las zonas de almacenamiento de fotocarga 41, 42 y 43 de un píxel determinado 30 que representa en imagen una característica de la escena 130. En el gráfico 185 de la figura 2F se muestran valores de C41, C42 y C43 como

funciones de la distancia de la característica en centímetros (cm) mostrada a lo largo de la abscisa del gráfico. La ordenada del gráfico está escalada en unidades arbitrarias. La distancia de la característica representada en imagen del píxel determinado se puede determinar a partir de los valores de C41, C42 y C43 determinados para el píxel determinado. El gráfico 185 muestra los valores determinados, representados por C41*, C42* y C43*. A partir del gráfico se observa que los valores determinados son los más compatibles con un valor para la distancia de la característica representada en imagen igual a aproximadamente 125 cm.

En una realización de la invención, un fotodetector similar al fotodetector multimodo 20 puede estar comprendido en una cámara que funciona para adquirir fotografías de una escena, según una realización de la invención. A modo de ejemplo, la figura 3 muestra esquemáticamente un teléfono inteligente 200 que comprende una cámara 202 que tiene un fotodetector multimodo 20, según una realización de la invención. La figura 3 muestra esquemáticamente la cámara 202 del teléfono inteligente siendo utilizada para representar en imagen una escena 300.

En una realización de la invención, un controlador (no mostrado) del teléfono inteligente 200 controla el fotodetector multimodo 20 para que funcione en un modo de alta resolución espacial o en un modo de baja resolución espacial, en función de una medida de la intensidad de la luz recogida por la cámara 202 del teléfono inteligente a partir de la escena 300 y de un umbral de intensidad. La intensidad de la luz recogida puede ser determinada por cualquier medidor de la luz y/o aplicación adecuados (no mostrados) comprendido en el teléfono inteligente 200. Si la intensidad de la luz es mayor que la intensidad umbral, el controlador puede controlar el fotodetector multimodo 20 para que funcione en un modo de alta resolución espacial para representar en imagen la escena 300. Si la intensidad de la luz recogida es menor que la intensidad umbral, el controlador puede controlar el fotodetector multimodo 20 para que funcione en el modo de baja resolución espacial para representar en imagen la escena 300.

Por lo tanto, se da a conocer, según una realización de la invención, un fotodetector multimodo que tiene una serie de píxeles sensibles a la luz formados en un sustrato, comprendiendo cada píxel: una zona sensible a la luz en la que la luz incidente genera portadores de fotocarga; una serie de zonas de almacenamiento para acumular portadores de fotocarga generados en la zona sensible a la luz; una puerta de transferencia asociada con cada zona de almacenamiento de las serie de zonas de almacenamiento que se puede electrificar para hacer que la fotocarga en la zona sensible a la luz sea arrastrada a la zona de almacenamiento; y una matriz de microlentes que comprende por lo menos una microlente para cada zona de almacenamiento de la serie de zonas de almacenamiento, que dirige luz incidente sobre dicha por lo menos una microlente a una zona de la zona sensible a la luz que está más cerca de la zona de almacenamiento que de otra de las zonas de almacenamiento de la serie de zonas de almacenamiento.

Opcionalmente, la matriz de microlentes comprende una única microlente para cada zona de almacenamiento. Alternativa o adicionalmente, la matriz de microlentes puede presentar simetría de rotación. Opcionalmente, la simetría de rotación tiene un orden igual al número de la serie de zonas de almacenamiento. En una realización de la invención, el número de la serie de zonas de almacenamiento es igual a dos. En una realización de la invención, el número de la serie de zonas de almacenamiento es igual o mayor que cuatro.

En una realización de la invención, el fotodetector multimodo comprende un controlador que electrifica una puerta de transferencia asociada con una zona de almacenamiento para hacer que la fotocarga generada en la zona sensible a la luz sea arrastrada a la zona de almacenamiento. Opcionalmente, el controlador electrifica una puerta de transferencia de solamente una zona de almacenamiento con una tensión de transferencia para hacer que la fotocarga generada en sustancialmente cualquier posición en la zona sensible a la luz sea arrastrada a una zona de almacenamiento. Alternativa o adicionalmente, el controlador electrifica simultáneamente la puerta de transferencia asociada con cada zona de almacenamiento con una misma tensión de transferencia para hacer que la fotocarga generada en posiciones en la zona sensible a la luz más próxima a una zona de almacenamiento sea arrastrada a la zona de almacenamiento.

En una realización de la invención, el controlador electrifica el sustrato para conmutar el fotodetector multimodo a ON (activado) y OFF (desactivado).

En una realización de la invención, la zona fotosensible comprende un fotodiodo. En una realización, la zona fotosensible comprende una fotopuerta.

Se da a conocer además, según una realización de la invención, una cámara tridimensional (3D) de tiempo de vuelo (TOF) que representa en imagen una escena para determinar distancias a características de la escena, comprendiendo la cámara TOF-3D: una fuente de luz que transmite un tren de pulsos de luz para iluminar la escena; un fotodetector multimodo, según una realización de la invención, que recibe luz reflejada por las características a partir de los pulsos de luz transmitidos; y un controlador que conmuta el fotodetector a ON (activado) y OFF (desactivado) después de cada pulso de luz para acumular la fotocarga generada en los fotodiodos de los píxeles del fotodetector multimodo mediante luz procedente de los pulsos de luz reflejados por las características durante un periodo de exposición elegido entre una serie de diferentes periodos de exposición; en la que el controlador electrifica puertas de transferencia de diferentes zonas de almacenamiento para acumular fotocarga generada durante diferentes periodos de exposición en diferentes zonas de almacenamiento, determina cantidades de

fotocarga acumulada en diferentes zonas de almacenamiento a partir de una misma trama del fotodetector multimodo y utiliza las cantidades para determinar distancias a características de la escena.

- 5 Opcionalmente, los diferentes periodos de exposición comprenden periodos de exposición que comienzan en tiempos diferentes después de un tiempo en el que se transmite un pulso de luz del tren de pulsos de luz. Adicional o alternativamente, los diferentes periodos de exposición pueden comprender periodos de exposición con duraciones diferentes. Los diferentes periodos de exposición pueden comprender periodos de exposición con forma diferente.
- 10 En una realización de la invención, el número de la serie de diferentes periodos de exposición es igual o mayor que dos. Opcionalmente, el número de la serie de zonas de almacenamiento es igual o mayor que el número de la serie de diferentes periodos de exposición.
- 15 Se da a conocer además, según una realización de la invención, una cámara que representa en imagen una escena para adquirir una fotografía de la escena, comprendiendo la cámara un fotodetector multimodo, según una realización de la invención, que recibe luz de la escena; un medidor de luz que determina la intensidad de la luz que llega a la cámara procedente de la escena; y un controlador que controla la electrificación de puertas de transferencia en respuesta a la intensidad de la luz medida por el medidor de luz. Opcionalmente, el controlador controla la electrificación de las puertas de transferencia en respuesta a una intensidad umbral de la luz. Si la intensidad medida es menor que el umbral, el controlador puede electrificar una puerta de transferencia de solamente una zona de almacenamiento con una tensión de transferencia. Si la intensidad medida es mayor que el umbral, el controlador puede electrificar simultáneamente la puerta de transferencia asociada con cada zona de almacenamiento, con una misma tensión de transferencia.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Un fotodetector (20) que tiene una serie de píxeles (30) sensibles a la luz formados en un sustrato (31), comprendiendo cada pixel:
 - 5 una zona sensible a la luz (32) en la que la luz incidente genera portadores de fotocarga;
 - una serie de zonas de almacenamiento (41-44) para acumular portadores de fotocarga generados en la zona sensible a la luz;
 - 10 una puerta de transferencia (50) asociada con cada zona de almacenamiento de la serie de zonas de almacenamiento, que se puede electrificar para hacer que la fotocarga en la zona sensible a la luz sea arrastrada a la zona de almacenamiento; y
 - una matriz de microlentes que comprende por lo menos una microlente (60) para cada zona de almacenamiento determinada de la serie de zonas de almacenamiento, que dirige luz incidente sobre dicha por lo menos una microlente a una zona de la zona sensible a la luz que está más cerca de la
 - 15 zona de almacenamiento determinada que de otras zonas de almacenamiento de la serie de zonas de almacenamiento.
2. El fotodetector según la reivindicación 1, en el que la matriz de microlentes comprende una sola microlente (60) para cada zona de almacenamiento.
- 20 3. El fotodetector según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que la matriz de microlentes presenta simetría de rotación.
4. El fotodetector según la reivindicación 3, en el que la simetría de rotación tiene un orden igual al número de la serie de zonas de almacenamiento (41-44).
- 25 5. El fotodetector según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el número de la serie de zonas de almacenamiento (41-44) es igual o mayor que dos.
- 30 6. El fotodetector según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, y que comprende un controlador (124) que electrifica una puerta de transferencia (50) asociada con una zona de almacenamiento (41-44) para hacer que la fotocarga generada en la zona sensible a la luz (32) sea arrastrada a la zona de almacenamiento.
- 35 7. El fotodetector según la reivindicación 6, en el que el controlador (124) electrifica una puerta de transferencia (50) de solamente una zona de almacenamiento (41-44) con una tensión de transferencia para hacer que la fotocarga generada en sustancialmente cualquier posición en la zona sensible a la luz (32) sea arrastrada a una zona de almacenamiento.
- 40 8. El fotodetector según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que el controlador (124) electrifica simultáneamente la puerta de transferencia (50) asociada con cada zona de almacenamiento (41-44) con una misma tensión de transferencia para hacer que la fotocarga generada en posiciones en la zona sensible a la luz (32) más próxima a una zona de almacenamiento sea arrastrada a la zona de almacenamiento.
- 45 9. El fotodetector según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador (124) electrifica el sustrato (31) para conmutar el fotodetector a ON (activado) y OFF (desactivado).
10. Una cámara tridimensional de tiempo de vuelo (120) que representa en imagen una escena para determinar distancias a características de la escena, comprendiendo la cámara:
 - 50 una fuente de luz (126) que transmite un tren de pulsos de luz para iluminar la escena;
 - un fotodetector (20), según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que recibe luz reflejada por las características a partir de los pulsos de luz transmitidos; y
 - un controlador (124) que conmuta el fotodetector a ON (activado) y OFF (desactivado) después de cada pulso de luz, para acumular fotocarga generada en los fotodiodos (32) de píxeles (30) en el fotodetector
 - 55 mediante luz de los pulsos de luz reflejados por las características durante un periodo de exposición elegido entre una serie de diferentes periodos de exposición;
 - en el que el controlador electrifica puertas de transferencia (50) de diferentes zonas de almacenamiento (41-44) para acumular fotocarga generada durante diferentes periodos de exposición en diferentes zonas de almacenamiento, determina cantidades de fotocarga acumulada en diferentes zonas de
 - 60 almacenamiento a partir de una misma trama del fotodetector y utiliza las cantidades para determinar distancias a características en la escena.
11. La cámara según la reivindicación 10, en la que los diferentes periodos de exposición comprenden periodos de exposición que comienzan en tiempos diferentes después de un tiempo en el que se transmite un pulso de luz en el tren de pulsos de luz.
- 65

12. La cámara según la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en la que los diferentes periodos de exposición comprenden periodos de exposición que tienen duraciones diferentes.
- 5 13. La cámara según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en la que el número de la serie de diferentes periodos de exposición es igual o mayor que dos y el número de la serie de zonas de almacenamiento (41-44) es igual o mayor que el número de la serie de diferentes periodos de exposición.
- 10 14. Una cámara que representa en imagen una escena para adquirir una fotografía de la escena, comprendiendo la cámara:
un fotodetector (20) según la reivindicación 8, que recibe luz de la escena;
un medidor de luz que determina la intensidad de la luz que llega a la cámara desde la escena; y
un controlador (124) que controla la electrificación de puertas de transferencia (50) en respuesta a la intensidad de la luz medida por el medidor de luz.
- 15 15. La cámara según la reivindicación 14, en la que el controlador (124) controla la electrificación de las puertas de transferencia (50) en respuesta a una intensidad umbral de la luz.

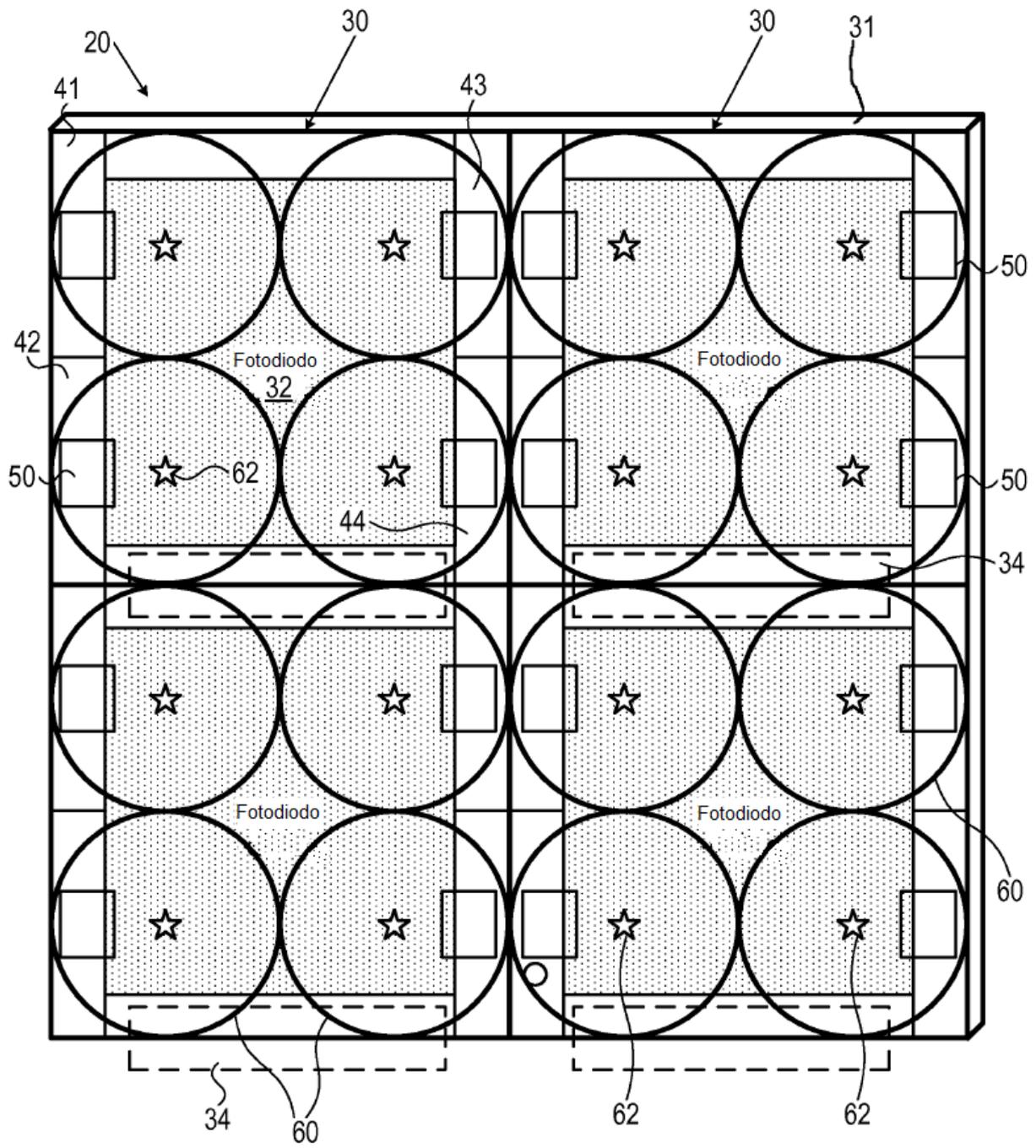


FIG. 1A

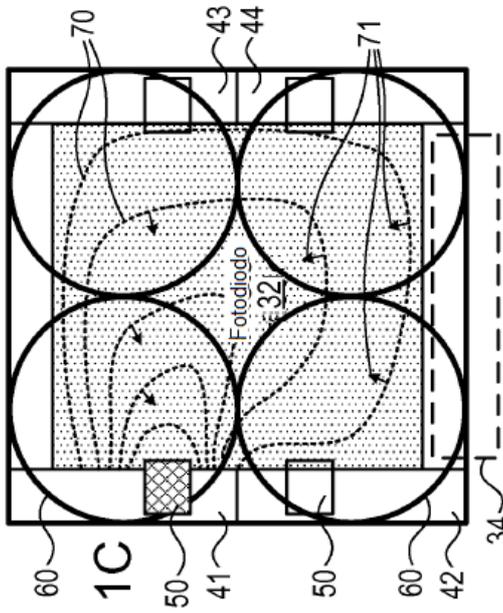


FIG. 1C

30

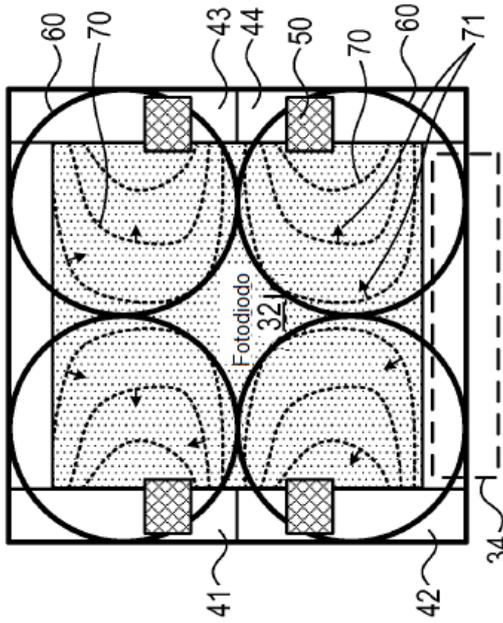


FIG. 1B

30

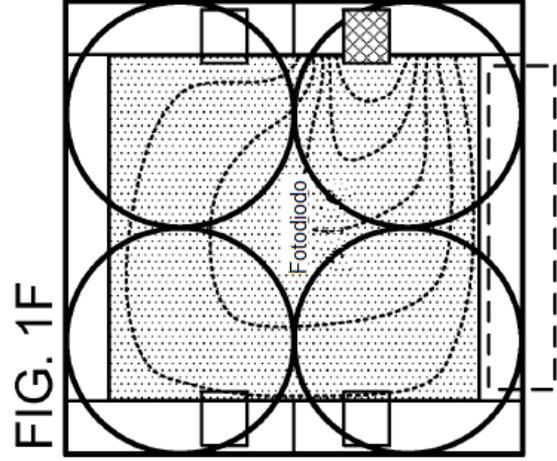


FIG. 1F

30

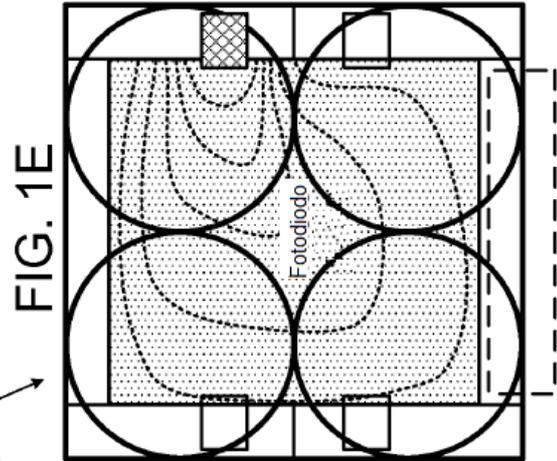


FIG. 1E

30

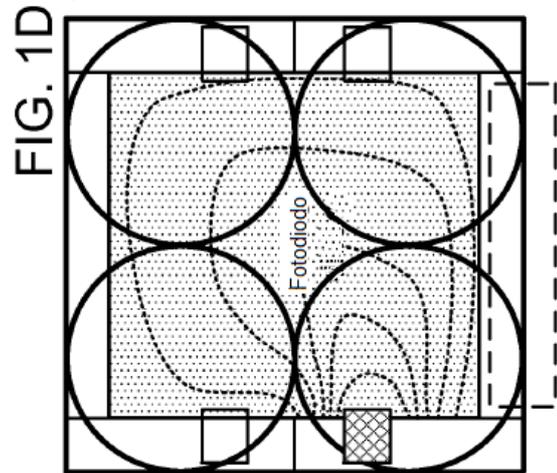
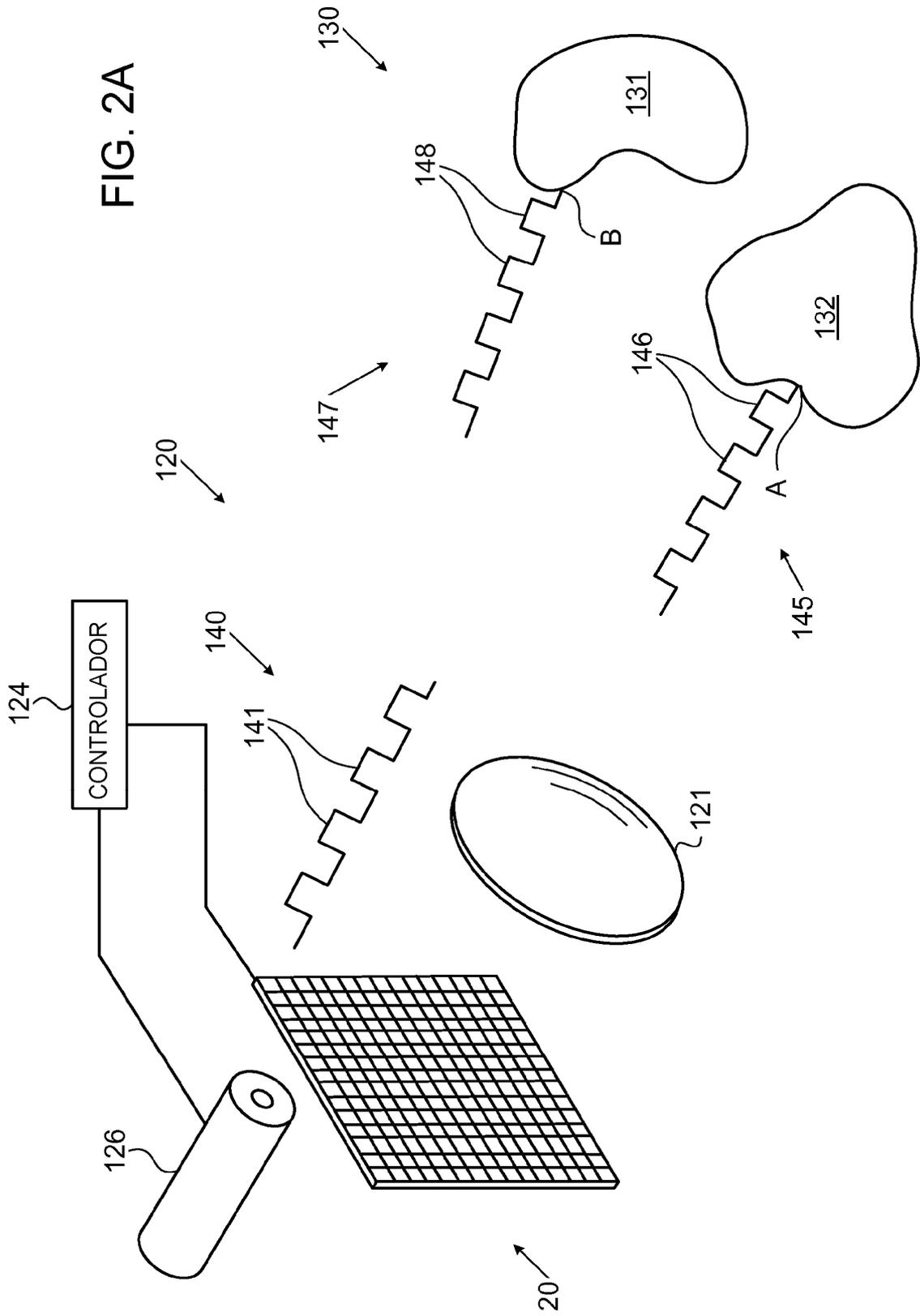
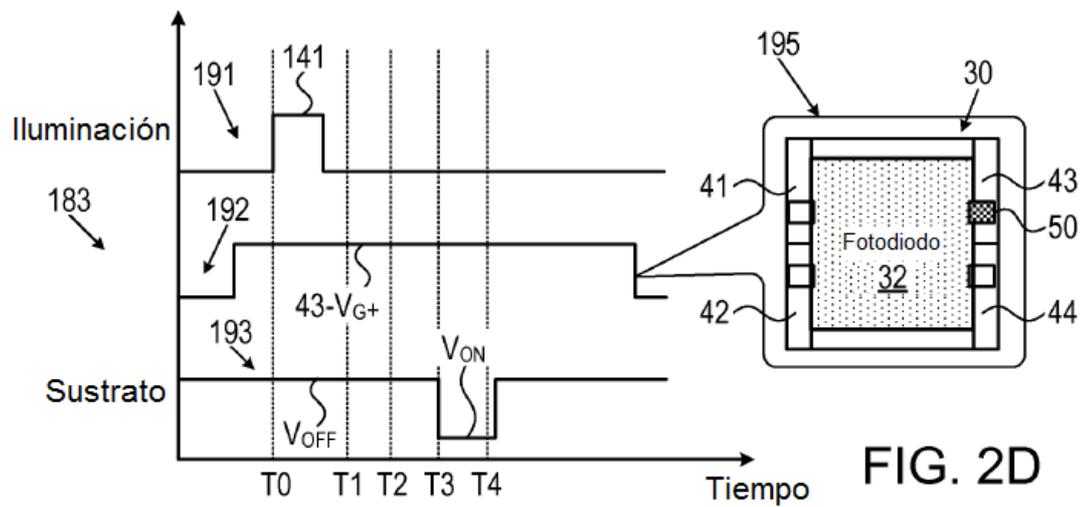
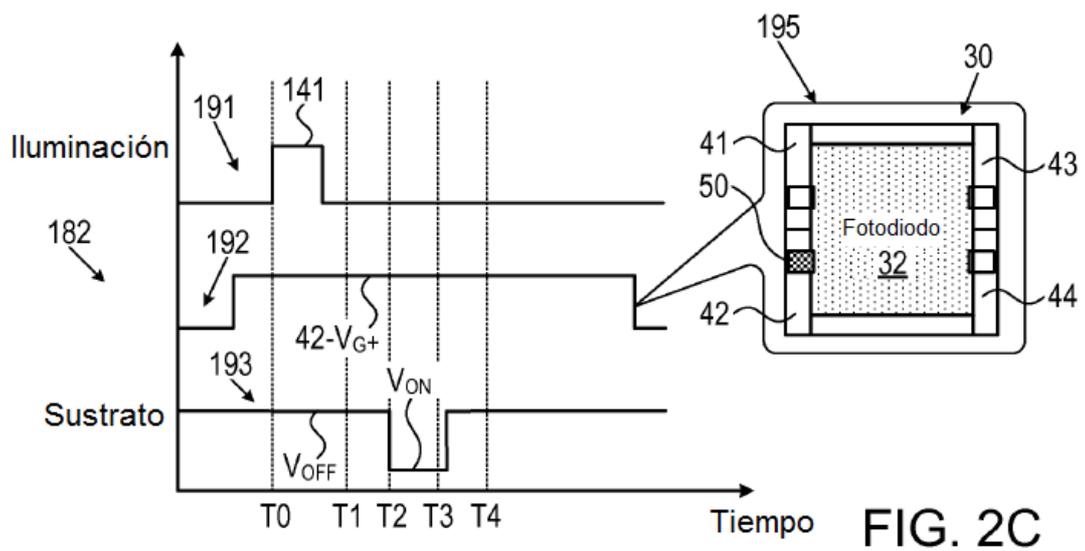
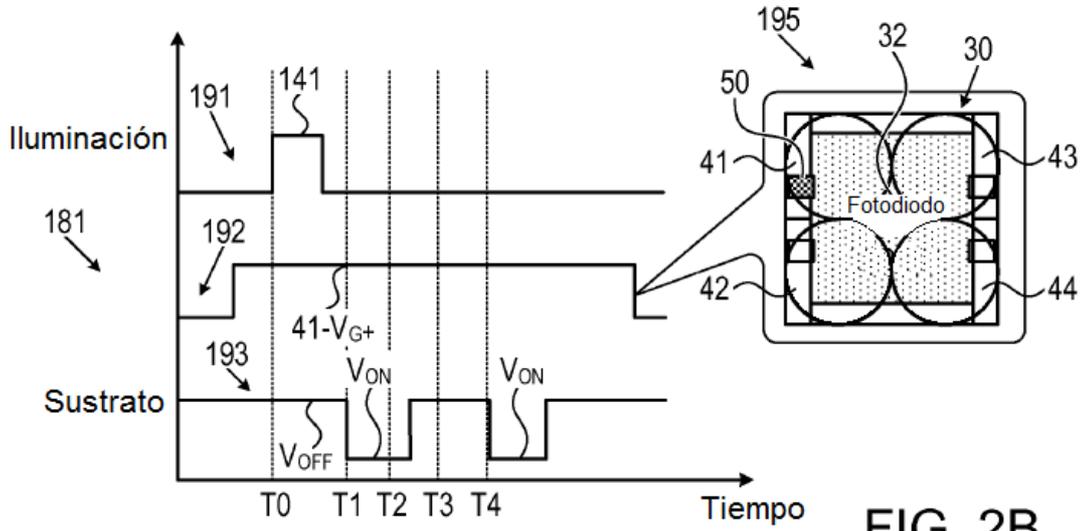


FIG. 1D

30





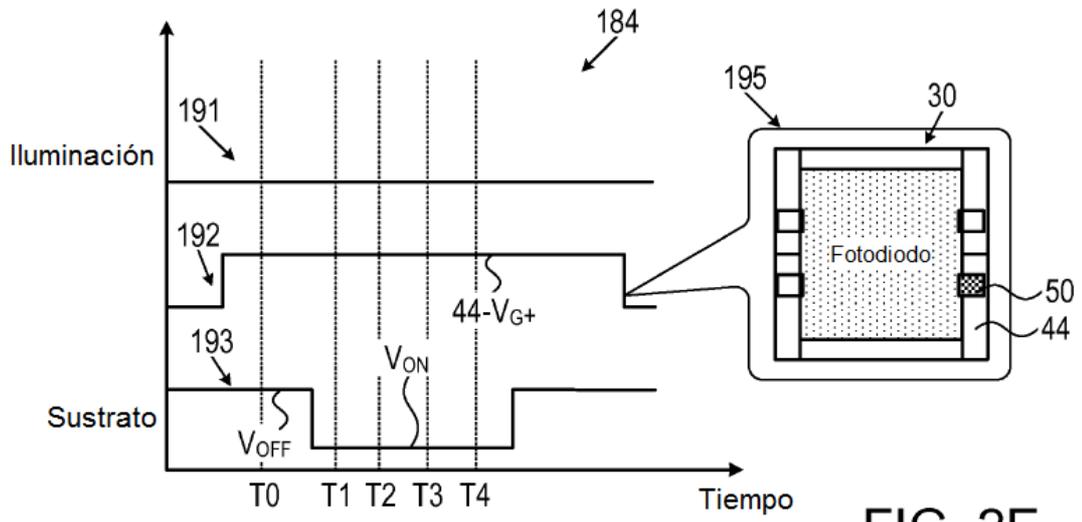


FIG. 2E

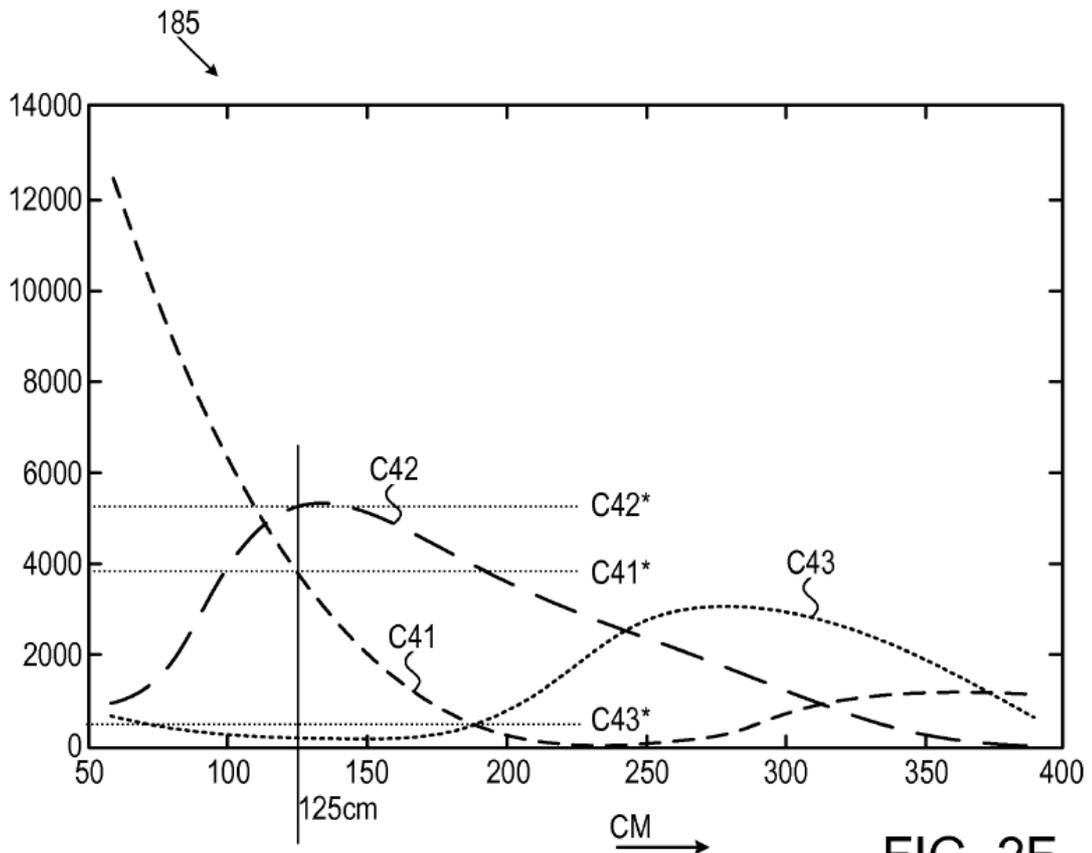


FIG. 2F

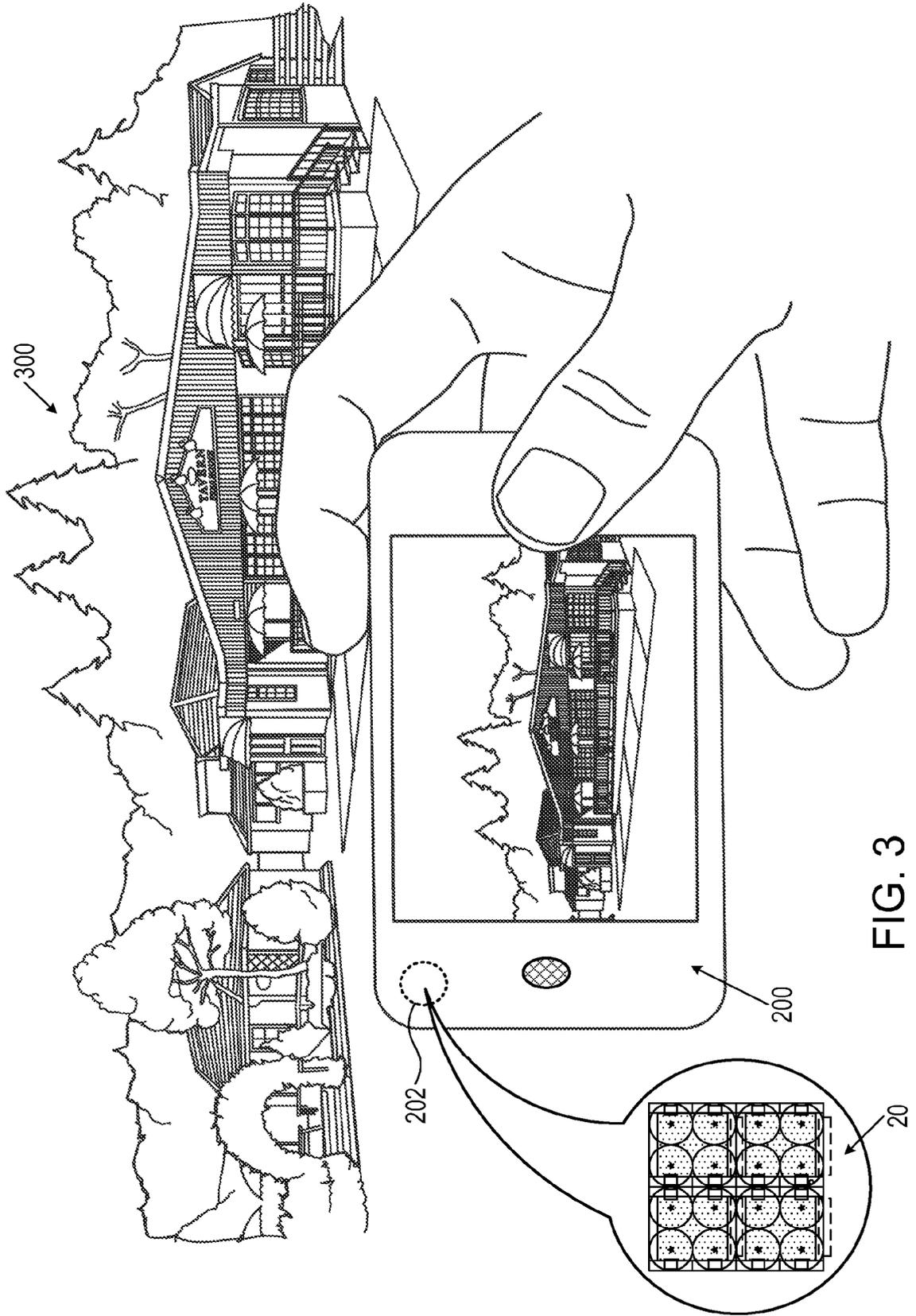


FIG. 3