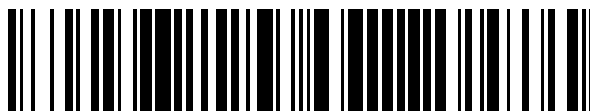


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 798 927**

51 Int. Cl.:

G01S 7/486 (2010.01)

G01J 1/44 (2006.01)

H01L 27/146 (2006.01)

G01S 7/487 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.03.2017 PCT/US2017/022199**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.10.2017 WO17180277**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2017 E 17713132 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 3443377**

54 Título: **Selección de área activa para receptores LIDAR**

30 Prioridad:

15.04.2016 US 201662323515 P
06.09.2016 US 201615257714

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
14.12.2020

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 Morehouse Drive
San Diego, CA 92121-1714, US

72 Inventor/es:

IRISH, LINDA y
VON NOVAK, WILLIAM HENRY

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 798 927 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

Selección de área activa para receptores LIDAR

5 ANTECEDENTES

[0001] La detección y el rango de luz (LIDAR) es una tecnología topográfica que mide la distancia iluminando un objetivo con una luz láser y leyendo un pulso correspondiente a la luz láser reflejada. LIDAR a menudo se utiliza para determinar la topología de un paisaje, y LIDAR se usa comúnmente en vehículos modernos para ayudar a determinar las distancias entre los vehículos y los objetos en su entorno. Sin embargo, debido a que el sensor de un receptor LIDAR puede ser tan sensible, es vulnerable al ruido de la luz de fuentes de luz distintas del transmisor LIDAR.

[0002] Se llama la atención sobre US 2013/099100 A1 que describe un fotomultiplicador de silicio y un procedimiento de lectura. Se proporciona un dispositivo fotomultiplicador de silicio que comprende un primer electrodo dispuesto para proporcionar un voltaje de polarización al dispositivo, un segundo electrodo dispuesto como un electrodo de tierra para el dispositivo y un tercer electrodo dispuesto para proporcionar una señal de salida del dispositivo usando el segundo electrodo como la señal de salida a tierra.

20 BREVE EXPLICACIÓN

[0003] De acuerdo con la presente invención, el alcance se proporciona como se establece en las reivindicaciones independientes, respectivamente. Los modos de realización preferidos de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

[0004] Las técnicas proporcionadas en el presente documento están dirigidas a proporcionar un sensor óptico que reduzca el ruido de fuentes de luz distintas del transmisor LIDAR cambiando el área activa del sensor de un receptor LIDAR. El sensor óptico puede incluir una matriz bidimensional de dispositivos de avalancha de fotones únicos (SPAD) con transistores de selección de fila y selección de columna, donde las filas y columnas se seleccionan basándose en el tamaño de punto predicho y el ángulo de luz láser reflejada detectada en el receptor LIDAR. Entre otras cosas, esto puede eliminar o reducir la necesidad de piezas móviles dentro del receptor LIDAR.

[0005] Un ejemplo de sensor óptico, de acuerdo con la divulgación, comprende una matriz de SPAD que tienen una pluralidad de filas y una pluralidad de columnas. Cada SPAD puede tener un elemento resistivo, un elemento capacitivo y un elemento de fotodetección, y además comprende una primera entrada, una segunda entrada y una salida. Cada fila de la pluralidad de filas puede tener un transistor de selección de fila correspondiente que, cuando se activa, hace que la primera entrada de cada SPAD en la fila reciba un voltaje de polarización. Cada columna de la pluralidad de filas puede tener un transistor de selección de columna correspondiente conectado con la segunda entrada de cada SPAD en la columna. Para cada columna, la salida de cada SPAD en la columna se puede conectar con una salida de columna para esa columna.

[0006] Los modos de realización del sensor óptico pueden incluir una o más de las siguientes características. El elemento de fotodetección de cada SPAD puede comprender un fotodiodo de avalancha (APD). Los transistores de selección de fila y los transistores de selección de columna pueden comprender transistores de unión bipolar (BJT). Los transistores de selección de fila y los transistores de selección de columna pueden comprender transistores de efecto de campo (FET). Cada SPAD puede comprender una resistencia acoplada entre el elemento capacitivo y la salida del SPAD. Cada salida de columna puede conectarse además a una entrada de un amplificador de impedancia trans.

[0007] Un procedimiento de ejemplo para activar una parte de una matriz de dispositivos de avalancha de fotones individuales (SPAD) que tienen una pluralidad de filas y una pluralidad de columnas, de acuerdo con la divulgación, comprende activar la parte de la matriz de SPAD proporcionando un voltaje de polarización a cada SPAD en un subconjunto de la pluralidad de filas y un subconjunto de la pluralidad de columnas, y leyendo una salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD.

[0008] El procedimiento puede comprender además una o más de las siguientes características. Cada SPAD puede comprender un fotodiodo de avalancha (APD). El procedimiento puede comprender además usar transistores de unión bipolar de selección de fila (BJT) y BJT de selección de columna para proporcionar el voltaje de polarización a cada SPAD en el subconjunto de la pluralidad de filas y el subconjunto de la pluralidad de columnas. El procedimiento puede comprender además usar transistores de efecto de campo de selección de fila (FET) y FET de selección de columna para proporcionar el voltaje de polarización a cada SPAD en el subconjunto de la pluralidad de filas y el subconjunto de la pluralidad de columnas. Cada SPAD puede comprender una resistencia acoplada entre un elemento capacitivo y la salida del SPAD. La lectura de la salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD puede comprender amplificar la salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD con un amplificador de impedancia trans. El procedimiento puede comprender además usar una unidad de procesamiento para proporcionar el voltaje de polarización a cada SPAD en el

subconjunto de la pluralidad de filas y el subconjunto de la pluralidad de columnas activando los transistores de selección de fila y selección de columna.

[0009] Un aparato de ejemplo, de acuerdo con la divulgación, comprende medios para activar una parte de una matriz de dispositivos de avalancha de fotones individuales (SPAD) que tienen una pluralidad de filas y una pluralidad de columnas SPAD proporcionando un voltaje de polarización a cada SPAD en un subconjunto de pluralidad de filas y un subconjunto de la pluralidad de columnas, y medios para leer una salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD.

[0010] El aparato puede comprender además una o más de las siguientes características. Cada SPAD puede comprender un fotodiodo de avalancha (APD). Los medios para activar la parte de una matriz de SPAD pueden comprender transistores de unión bipolar (BJT) seleccionados por fila y BJT seleccionados por columna. Los medios para activar la parte de una matriz de SPAD pueden comprender transistores de efecto de campo de selección de fila (FET) y FET de selección de columna. Cada SPAD puede comprender medios para proporcionar una resistencia eléctrica acoplada entre un medio capacitivo y la salida del SPAD. Los medios para leer la salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD pueden comprender además medios para amplificar la salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD. Los medios para activar la parte de una matriz de SPAD pueden comprender medios de procesamiento para proporcionar el voltaje de polarización a cada SPAD en el subconjunto de la pluralidad de filas y el subconjunto de la pluralidad de columnas activando los transistores de selección de fila y selección de columna.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0011] Puede comprenderse la naturaleza y ventajas de diversos modos de realización consultando las siguientes figuras.

La FIG. 1 es un diagrama de bloques simplificado de un sistema LIDAR que puede utilizar las técnicas analizadas en el presente documento, de acuerdo con un modo de realización.

La FIG. 2 es un diagrama esquemático simplificado de un fotomultiplicador de silicio (SiPM), de acuerdo con un modo de realización.

La FIG. 3 es un diagrama esquemático simplificado de un SiPM, de acuerdo con un modo de realización diferente.

La FIG. 4 es un diagrama esquemático de un único dispositivo de avalancha de fotones (SPAD), de acuerdo con un modo de realización.

La FIG. 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento 400 para permitir la activación de una parte de un SiPM, de acuerdo con algunos modos de realización.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0012] La descripción siguiente proporciona solo modos de realización y no pretende limitar el alcance, la aplicabilidad ni la configuración de la divulgación. En lugar de eso, la siguiente descripción de lo(s) modo(s) de realización proporcionará a los expertos en la materia una descripción que permita la implementación de un modo de realización. Se entiende que se pueden hacer varios cambios en la función y disposición de los elementos sin apartarse del alcance de esta divulgación.

[0013] Esta divulgación se relaciona en general con habilitar un área seleccionable y un receptor de detección y rango de luz (LIDAR) para proporcionar relaciones señal/ruido más favorables, aunque los modos de realización no son tan limitados. Se entenderá que las técnicas proporcionadas en el presente documento pueden utilizarse en otras aplicaciones (por ejemplo, imágenes en 3D y/o médicas) y para otros resultados deseados.

[0014] LIDAR es una tecnología topográfica que mide la distancia iluminando un objetivo con una luz láser (por ejemplo, uno o más haces láser de un transmisor LIDAR) y leyendo un pulso correspondiente a la luz láser reflejada. LIDAR a menudo se utiliza para determinar la topología de un paisaje, y LIDAR se usa comúnmente en vehículos modernos (por ejemplo, para implementar funciones de autoconducción u otras características) para ayudar a determinar las distancias entre los vehículos y los objetos en su entorno. En algunas implementaciones, por ejemplo, el pulso puede ser del orden de 300 ps.

[0015] La FIG. 1 es un diagrama de bloques simplificado de un modo de realización de un sistema LIDAR, que ilustra la funcionalidad básica de un sistema LIDAR. Como se ilustra, un sistema LIDAR 100 puede comprender un transmisor LIDAR 130 (que incluye un láser 135 y una óptica de dirección de haz 133), un receptor LIDAR 120 (que incluye una óptica de filtrado 122, una óptica de enfoque 124 y un sensor 126), y una unidad de procesamiento 110. Un experto en la materia reconocerá que los modos de realización alternativos de un sistema LIDAR 100

pueden incluir componentes adicionales o alternativos a los mostrados en la FIG. 1. Por ejemplo, los componentes pueden agregarse, eliminarse, combinarse o separarse, dependiendo de la funcionalidad deseada, las preocupaciones de fabricación y/u otros factores. En algunos modos de realización, por ejemplo, el receptor LIDAR y el transmisor LIDAR pueden tener unidades de procesamiento separadas u otros circuitos que controlen el funcionamiento del mismo.

[0016] En general, el funcionamiento del sistema LIDAR 100 es el siguiente. La unidad de procesamiento 110 hace que el láser 135 genere un haz láser 137 que se alimenta a la óptica de dirección de haz. La óptica de dirección de haz 133 ajusta la dirección y/o el tamaño de punto del haz láser 137 (usando, por ejemplo, un par de prismas Risley, reflectores de sistemas microelectromecánicos (MEMS) y/u otros medios) para crear un haz láser transmitido 140 que escanea un campo de visión (FOV) del sistema LIDAR 100. (Se puede observar que la dirección del haz láser transmitido 140 puede medirse mediante un ángulo 170 desde un eje de la óptica de dirección de haz 133. Se puede observar además que el eje se puede determinar arbitrariamente, y que se pueden usar múltiples ángulos para extender esta idea en dos (o más dimensiones). Al hacerlo, el haz láser transmitido 140 se refleja en un objeto 150 dentro del FOV, creando un haz láser reflejado 160 que es detectado por el receptor LIDAR 120. La óptica de filtrado 122 se puede usar para filtrar la luz no deseada (por ejemplo, la longitud de onda de la luz que no sea la o las longitudes de onda generadas por el láser 135), y la óptica de enfoque 124 se puede usar para proyectar el haz láser reflejado 160 sobre una superficie sensible a la luz del sensor 126. El sensor 126 puede proporcionar información a la unidad de procesamiento 110 que permite que la unidad de procesamiento 110 determine una distancia del objeto. A medida que la óptica de dirección de haz 133 escanea todo el FOV del sistema LIDAR 100, el receptor LIDAR recibe la luz láser reflejada, y la unidad de procesamiento 110 puede determinar la distancia de muchos objetos dentro del FOV completo del sistema LIDAR 100.

[0017] El sensor 126 del receptor LIDAR puede comprender un sensor de alta velocidad tal como un fotodiodo de avalancha (APD) o un fotomultiplicador de silicio. La relación señal/ruido (SNR) se degrada a medida que la luz de fuentes distintas al transmisor LIDAR cae sobre el fotodetector. Por ejemplo, la luz del sol crea ruido de activación. Para una buena SNR, la óptica de filtrado 122 y la óptica de enfoque 124 se pueden diseñar para poner tanta luz que se originó en el transmisor LIDAR como sea posible en el sensor 126, mientras se minimiza la luz de otras fuentes.

[0018] El sensor 126 puede comprender un fotomultiplicador de silicio (SiPM) que incluye una matriz de dispositivos de avalancha de fotones individuales (SPAD, también denominados en el presente documento "microcélulas SPAD" o "células SPAD") donde un solo fotón puede activar un SPAD durante un breve período de tiempo. Durante el tiempo que se activa un SPAD, es posible que ya no sea sensible a la luz. Es decir, cuando un SPAD detecta un fotón, el SPAD entra en saturación y permanece allí hasta que se descarga el elemento capacitivo del SPAD, creando así un pico en la salida (que se mide mediante circuitos de salida como la unidad de procesamiento 110 para determinar, por ejemplo, una distancia medida). Si los SPAD se hacen pequeños y se conectan entre sí con resistencias de enfriamiento, la salida del SiPM es una función de la luz que llega al fotodetector. Se apreciará que, aunque los modos de realización descritos en el presente documento utilizan SPAD, otros modos de realización pueden utilizar otros medios de detección de fotones.

[0019] Debido a que los SiPM pueden ser tan sensibles, el sensor 126 puede ser vulnerable al ruido (es decir, a la luz que no sea el haz láser reflejado 160). Y aunque la óptica de filtrado 122 ayuda a reducir la cantidad de este ruido, no lo elimina. Además, en situaciones en las que otros sistemas LIDAR están funcionando en las proximidades del sistema LIDAR 100 (como cuando se utilizan múltiples sistemas LIDAR basándose en automóviles en tráfico de alta densidad), la óptica de filtrado 122 puede no filtrar la luz generada por el LIDAR transmisores de otros sistemas LIDAR 100.

[0020] De acuerdo con las técnicas presentadas en el presente documento, la SNR puede incrementarse adicionalmente activando selectivamente solo una parte del sensor 126 que se espera que esté iluminada por el haz láser reflejado 160. En otras palabras, dado que la óptica de dirección de haz 133 determina el ángulo 170 y el tamaño de punto del haz láser transmitido 140 en cualquier momento dado durante el funcionamiento del sistema LIDAR 100, el sistema LIDAR 100 puede determinar aún más el ángulo y el tamaño de punto esperados del haz láser reflejado 160. Con esta información, el sistema LIDAR 100 puede a continuación determinar qué SPAD del sensor 126 es probable que se ilumine con la luz láser reflejada. Como tal, y de acuerdo con las técnicas divulgadas en el presente documento, la SNR para el sensor 126 puede mejorarse adicionalmente utilizando un sensor 126 que tenga un SiPM capaz de cambiar dinámicamente su área activa tanto en la ubicación como en el tamaño. Entre otras cosas, esto puede eliminar o reducir la necesidad de piezas móviles dentro del receptor LIDAR.

[0021] La FIG. 2 es un diagrama esquemático simplificado de un SiPM 200, de acuerdo con un modo de realización. Como se mencionó anteriormente, el SiPM 200 puede incorporarse en el sensor 126 de la FIG. 1. Aquí, el SiPM comprende una matriz de SPAD, en el que cada SPAD 210 comprende elementos resistivos, capacitivos y fotosensibles, como una resistencia, un condensador y un fotodiodo, respectivamente. Una persona de habilidad ordinaria en la técnica apreciará los valores típicos y/u otras propiedades de estos elementos, que pueden variar dependiendo de la funcionalidad deseada. En algunos modos de realización, por ejemplo, los valores de capacitancia pueden estar en el rango de femtofaradios, y la resistencia utilizada en la implementación podría

estar en un amplio rango de valores, dependiendo de cómo se optimice el diseño de la matriz. Por ejemplo, en algunos modos de realización, la constante de tiempo RC de la capacitancia que actúa contra la resistencia de enfriamiento puede ser de 10 nS o menos. En estos modos de realización, la resistencia en serie con cada condensador en la FIG. 3 podría estar en cualquier lugar desde cero (por ejemplo, se omite la resistencia) a cualquier valor que produzca una constante de tiempo RC menor que 10 nS. Otros modos de realización pueden tener valores por encima y/o por debajo de los valores de este ejemplo.

[0022] Se entenderá que el tamaño de la matriz puede variar, dependiendo de la funcionalidad deseada. Es decir, aunque el SiPM 200 ilustrado en la FIG. 2 tiene solo 25 SPAD ilustrados, los modos de realización pueden tener un número mayor o menor de SPAD, dependiendo de la funcionalidad deseada. Algunos modos de realización pueden incluir, por ejemplo, cientos, miles o millones de SPAD, o más. En algunos modos de realización, todo el SiPM (y opcionalmente algunos de los circuitos adicionales mostrados en la FIG. 2) pueden implementarse en un único troquel de semiconductores. Una persona de habilidad ordinaria en la técnica apreciará el hecho de que se pueden hacer varias modificaciones en el diseño básico que se muestra en la FIG. 2. Se puede observar además que, aunque la matriz se describe como un SiPM 200, algunos modos de realización pueden utilizar matrices de fotomultiplicadores que utilizan materiales además o como una alternativa al silicio.

[0023] En este modo de realización, el SiPM 200 utiliza una pluralidad de transistores de selección de fila 220, así como una pluralidad de transistores de selección de columna 230, que permiten el control de los circuitos (como un microprocesador u otro circuito de procesamiento) para, mediante la activación de estos transistores, seleccionar qué SPAD en la matriz usar para detectar en un momento particular. En otras palabras, estos transistores de selección de fila 220 y los transistores de selección de columna 230 pueden, cuando se activan, permitir que los circuitos de control "activen" un cierto subconjunto del SiPM 200. Dependiendo de la funcionalidad deseada, las preocupaciones de fabricación y/u otros factores, estos transistores podrían comprender NPN, PNP, MOSFET de canal N o P, u otros tipos. En términos generales, el tamaño del transistor puede ser lo suficientemente grande como para tener una resistencia de encendido entre el drenaje y la fuente (RDS (encendido)) que sea sustancialmente más pequeña que todas las resistencias de enfriamiento en paralelo accionadas por ese transistor, o lo suficientemente pequeña como para conducir la corriente de peor caso que necesita la fila o columna sin más de un par de voltios de caída. En algunos modos de realización, la clasificación de voltaje puede ser de 30V o posiblemente más. Sin embargo, esto puede variar dependiendo del fotodetector utilizado.

[0024] Un SPAD y un APD son sensibles a la cantidad de voltaje de polarización, que se establece mediante el voltaje de polarización 240. Hasta el voltaje de ruptura del sensor, la ganancia del SPAD y APD puede ser de hasta un electrón por fotón. Debido a la eficiencia del sensor, la sensibilidad real puede ser sustancialmente menor que un electrón por fotón. Pero a medida que el voltaje de polarización aumenta al voltaje de ruptura y más allá, aumenta la sensibilidad del APD y el SPAD. Para la disposición de las microcélulas SiPM SPAD en una matriz con los cátodos conectados a filas y ánodos conectados a columnas (como se muestra en la FIG. 2), se puede lograr un área de células de alta ganancia al conducir el voltaje de polarización a filas y columnas para seleccionar un área activa con alta ganancia. Las células no seleccionadas sin la alta polarización inversa tienen una ganancia muy baja, mientras que el área activa (seleccionada usando transistores de selección de fila y columna) tienen una ganancia de 20^5 o más. Al seleccionar múltiples filas adyacentes y múltiples columnas adyacentes, se puede seleccionar un área cuadrada o rectangular deseada. De forma alternativa, algunos modos de realización pueden modificarse para permitir que se seleccione un área no rectangular.

[0025] La agrupación de las células SPAD puede ser columna por columna, fila por fila o una agrupación arbitraria de células SPAD sin tener en cuenta todas las células que caen en la misma fila o columna. Se puede observar que la estructura ilustrada en la FIG. 2 (así como la estructura de la FIG. 3 a continuación) funcionará si se intercambian los ánodos y los cátodos, o se intercambian filas y columnas, siempre que la polaridad del accionamiento en las células SPAD esté polarizada inversamente.

[0026] El nivel de señal de cada SPAD puede ser bastante alto. Este valor depende de cuántas células SPAD estén conectadas entre sí. Por ejemplo, una sola célula SPAD por sí sola puede producir 5V, pero si se conecta en la misma columna con otras 1000 células SPAD, la carga de las otras células reduciría ese voltaje a 5mV. Otros modos de realización pueden incluir niveles de señal más altos o más bajos, dependiendo de la funcionalidad deseada. En algunos modos de realización, para matrices más pequeñas de SPAD, todas las salidas de célula acopladas capacitivamente podrían unirse para formar una sola salida. Las células SPAD imparciales crearían una respuesta mínima al ser golpeadas por un fotón, mientras que las células polarizadas tendrán una ganancia muy alta en términos de electrones por fotón. A medida que aumente el tamaño de la matriz, es posible que las salidas acopladas capacitivas se dividan en grupos de microcélulas y se conecten a un multiplexor o detector de picos para evitar que el nivel de señal sea demasiado pequeño debido a la división de voltaje entre las células conectadas. De acuerdo con algunos modos de realización, si se usa un conjunto de conmutadores o multiplexor, puede estar en la salida de cada fila en la FIG. 3 (después del amplificador). Los modos de realización alternativos pueden conectar filas antes de cada amplificador, pero la señal de las células activas se dividiría por el número total de células. Para matrices extremadamente grandes (por ejemplo, matrices que tienen varios cientos de microcélulas o más) los grupos de microcélulas podrían amplificarse antes de sumarlos o multiplexarlos. Esto mejoraría aún más la relación señal/ruido al evitar que la señal se debilite demasiado antes de la amplificación.

[0027] Se puede observar que, en la FIG. 2, no se muestra la combinación de circuitos (como multiplexores y/o amplificadores), pero se puede usar dependiendo de la funcionalidad deseada. Cada una de las columnas del SiPM 200 tiene una salida (etiquetada "OUT" en la FIG. 2) que se utiliza para detectar una salida del SiPM 200. Si se utiliza la combinación de circuitos, podría combinar una o más de estas salidas de columna de una manera similar al modo de realización ilustrado en la FIG. 3.

[0028] La FIG. 3 es un diagrama esquemático simplificado de un SiPM 300, de acuerdo con un modo de realización diferente. Aquí, los transistores de selección de fila 320 y los transistores de selección de columna 330 son transistores de efecto de campo (FET). Otros modos de realización pueden incluir de forma adicional o alternativa otros tipos de transistores, dependiendo de las preocupaciones de fabricación, la funcionalidad deseada y/u otros factores. Cada célula SPAD 310 difiere ligeramente de las células SPAD 210 de la FIG. 2 en que las células SPAD 310 de la FIG. 3 incluyen un elemento de resistencia de salida adicional para reducir los efectos de las capacitancias de otros SPAD. La señal de potencia de accionamiento más baja es amplificada a continuación por una capa de amplificadores de impedancia trans (TIA) 350 para aumentar la potencia de accionamiento antes de pasar a detección. Cabe señalar que los amplificadores de banda ancha se pueden utilizar además o como una alternativa a los TIA 350. Se puede observar además que el SiPM 200 de la FIG. 2 puede utilizar TIA 350 de manera similar.

[0029] Cabe señalar, sin embargo, que dichos elementos resistivos de salida son opcionales. Los modos de realización que utilizan transistores de unión bipolar (BJT) y/o FET (como los ilustrados en las FIGS. 2 y 3 respectivamente) pueden optar por incluir u omitir tales elementos resistivos adicionales, dependiendo de la funcionalidad deseada. La presencia y/o el valor de tales elementos resistivos adicionales pueden determinar cómo se forma un pulso de salida. Una persona que tenga una habilidad ordinaria en la técnica apreciará los factores que pueden utilizarse para determinar si se incluyen tales elementos resistivos adicionales y qué valores pueden ser. En algunos modos de realización, estos elementos resistivos pueden ser simplemente elementos resistivos parásitos.

[0030] Como con la FIG. 2, los modos de realización pueden emplear un número mayor o menor de SPAD que el ilustrado en el SiPM 300 ilustrado en la FIG. 3, dependiendo de la funcionalidad deseada. Nuevamente, los modos de realización pueden incluir, por ejemplo, cientos, miles o millones de SPAD (o más).

[0031] Como se indicó anteriormente, los voltajes de polarización 240 y 340 utilizados en las FIGS. 2 y 3, respectivamente, se pueden elegir para determinar la sensibilidad de los SPAD, cuando se activan (mediante transistores de selección de fila y columna). En algunos modos de realización, estos voltajes de polarización pueden ser dinámicos, permitiendo que el SiPM proporcione una salida sensiblemente variable dependiendo, por ejemplo, de las condiciones de iluminación y/u otros factores. Ajustar el voltaje de polarización del SPAD puede cambiar la sensibilidad. El valor de la polarización probablemente sería el mismo para todas las células que están activas (con las células inactivas no polarizadas). En otros modos de realización, estos voltajes de polarización pueden ser estáticos y/o configurados de fábrica.

[0032] En una aplicación LIDAR, las filas y columnas activas se pueden seleccionar un microsegundo o más antes de que se active el láser. Como se indicó anteriormente, las señales de selección de fila y/o columna utilizadas para activar los transistores de selección de fila 220, 320 y los transistores de selección de columna 230, 330 pueden ser generadas por una unidad de procesamiento u otra lógica (por ejemplo, la unidad de procesamiento 110 de FIG. 1) que puede estar en comunicación con y/o control de los circuitos de transmisión LIDAR. Como tal, la unidad de procesamiento u otra lógica puede conocer el ángulo y/o el tamaño de punto en el que los circuitos de transmisión LIDAR transmitirán un haz láser, y pueden seleccionar las filas y columnas de los SPAD en el SiPM correspondiente al ángulo y/o tamaño de punto conocido. Con los SPAD correspondientes del SiPM activados cuando los circuitos de transmisión LIDAR activan el haz láser (y el resto de los SPAD permanecen inactivos), esto permitirá que el SiPM proporcione una SNR más alta, lo cual da como resultado una funcionalidad LIDAR más precisa.

[0033] La FIG. 4 es un diagrama esquemático de un solo SPAD, de acuerdo con un modo de realización. Aquí, el SPAD incluye una resistencia de limitación de corriente o polarización/enfriamiento 410, una estructura capacitiva de alta velocidad 420, una resistencia de salida opcional 430 y un fotodiodo 440. Como se indicó anteriormente, el voltaje de polarización de entrada puede determinar la sensibilidad de la fotodetección. Se puede determinar un valor para la resistencia de limitación de corriente o polarización/enfriamiento 410 para limitar la cantidad de corriente consumida cuando el fotodiodo 440 detecta la luz. Los valores para la estructura capacitiva 420 y la resistencia de salida opcional (desacoplamiento) 430 pueden determinarse mediante técnicas conocidas basadas en los requisitos para los circuitos utilizados para combinar y/o medir la salida de los SPAD. De acuerdo con algunos modos de realización, todos los componentes del SPAD (y de hecho todo el SiPM y opcionalmente los circuitos de soporte, como los TIA) pueden implementarse en un único troquel de semiconductores. Tal troquel puede empaquetarse en un paquete de circuito integrado (CI) y utilizarse en LIDAR más grande u otros dispositivos de imágenes.

[0034] La FIG. 5 es un diagrama de flujo de un procedimiento 500 para permitir la activación de una parte de un SiPM, de acuerdo con algunos modos de realización. Se entenderá que los modos de realización alternativos pueden utilizar funciones adicionales o alternativas a las ilustradas en la FIG. 5.

[0035] En el bloque 510, en una matriz de SPAD que tiene una pluralidad de filas y una pluralidad de columnas, una parte de la matriz de SPAD se activa proporcionando un voltaje de polarización a cada SPAD en un subconjunto de las filas y un subconjunto de las columnas. Como se ilustra en los modos de realización mostrados en las FIGS. 2-3, el voltaje de polarización se puede proporcionar a las entradas de cada SPAD activando los transistores de selección de fila y/o selección de columna correspondientes. En algunos modos de realización, cada SPAD comprende elementos resistivos, capacitivos y de fotodetección conectados eléctricamente con una primera entrada, una segunda entrada y una salida, cada fila de la pluralidad de filas tiene un transistor de selección de fila correspondiente que, cuando se activa, hace que las primeras entradas de cada SPAD en la fila reciban un voltaje de polarización, cada columna de la pluralidad de filas tiene un transistor de selección de columna correspondiente conectado con las segundas entradas de cada SPAD en la columna, y para cada columna, las salidas de cada SPAD en la columna están conectadas con una salida de columna para esa columna. Como se describió anteriormente, la activación de dichos transistores se puede hacer con una unidad de procesamiento (como un microprocesador) y/u otra lógica configurada para generar señales para activar los transistores. Las filas y columnas seleccionadas para la activación pueden corresponder con aquellos SPAD que se espera que reciban luz láser reflejada (esta determinación también puede ser realizada por la unidad de procesamiento y/u otra lógica).

[0036] En el bloque 520, se lee la salida de cada una de las columnas de la matriz de SPAD. Como se indicó anteriormente, esto puede hacerse mediante cualquiera de una variedad de tipos de circuitos. En algunos modos de realización, para garantizar que estas salidas se lean con precisión, se puede utilizar un multiplexor para leer solo las salidas de las columnas de SPAD seleccionadas en el bloque 510. Además o de forma alternativa, estas salidas pueden ser amplificadas por TIA y/u otros tipos de amplificadores. En algunos modos de realización, las salidas pueden proporcionarse a una unidad de procesamiento (tal como la unidad de procesamiento 110 de la FIG. 1) y/u otros circuitos de procesamiento.

[0037] Como con otros modos de realización descritos en el presente documento, el procedimiento 500 ilustrado en la FIG. 5 puede variar, dependiendo de la funcionalidad deseada. Por ejemplo, los transistores utilizados en el bloque 510 pueden comprender transistores de unión bipolar (BJT) y/o transistores de efecto de campo (FET). Cada SPAD puede incluir una resistencia de salida acoplada con una salida del SPAD.

[0038] Será evidente para los expertos en la materia que se pueden realizar variaciones sustanciales de acuerdo con los requisitos específicos. Por ejemplo, también se podría usar hardware personalizado, y/o elementos particulares podrían implementarse en hardware, software (incluyendo software portátil, como applets, etc.), o en ambos. Además, se puede emplear la conexión a otros dispositivos informáticos tales como dispositivos de entrada/salida de red.

[0039] Con referencia a las figuras adjuntas, los componentes que pueden incluir memoria pueden incluir medios legibles por máquina no transitorios. El término "medio legible por máquina" y "medio legible por ordenador", como se usa en el presente documento, se refiere a cualquier medio de almacenamiento que participa en el suministro de datos que hace que una máquina funcione de una manera específica. En los modos de realización proporcionados anteriormente, varios medios legibles por máquina podrían estar involucrados en proporcionar instrucciones/código a las unidades de procesamiento y/u otro(s) dispositivo(s) para la ejecución. De manera adicional o alternativa, los medios legibles por máquina pueden usarse para almacenar y/o transportar tales instrucciones/códigos. En muchas implementaciones, un medio legible por ordenador es un medio de almacenamiento físico y/o tangible. Tal medio puede tomar muchas formas, incluyendo pero sin limitarse a, medios no volátiles, medios volátiles y medios de transmisión. Entre las formas comunes de medios legibles por ordenador se incluyen, por ejemplo, medios magnéticos y/u ópticos, tarjetas perforadas, papel adhesivo, cualquier otro medio físico con patrones de agujeros, una RAM, una PROM, EPROM, una FLASH-EPROM, cualquier otro cartucho o chip de memoria, una onda portadora como se describe más adelante, o cualquier otro medio desde el cual un ordenador pueda leer instrucciones y/o códigos.

[0040] Los procedimientos, sistemas y dispositivos analizados en el presente documento son ejemplos. Diversos modos de realización pueden omitir, sustituir o agregar diversos procedimientos o componentes según sea apropiado. Por ejemplo, las características descritas con respecto a ciertos modos de realización pueden combinarse en varios otros modos de realización. Se pueden combinar diferentes aspectos y elementos de los modos de realización de una manera similar. Los diversos componentes de las figuras proporcionadas en el presente documento pueden realizarse en hardware y/o software. Además, la tecnología evoluciona y, por lo tanto, muchos de los elementos son ejemplos que no limitan el alcance de la divulgación a esos ejemplos específicos.

[0041] En ocasiones ha resultado conveniente, principalmente por razones de uso común, referirse a señales tales como bits, información, valores, elementos, símbolos, caracteres, variables, términos, números, valores numéricos o similares. Sin embargo, debe entenderse que todos estos términos o similares deben asociarse con cantidades físicas apropiadas y son simplemente etiquetas convenientes. A menos que se indique específicamente

lo contrario, como se desprende del análisis anterior, se aprecia que a lo largo de esta memoria descriptiva los análisis utilicen términos como "procesamiento", "computación", "cálculo", "determinación", "establecimiento", "identificación", "asociación", "medición", "realización" o similares se refieren a acciones o procesos de un aparato específico, como un ordenador de propósito especial o un dispositivo informático electrónico de propósito especial similar. En el contexto de esta memoria descriptiva, por lo tanto, un ordenador de propósito especial o un dispositivo informático electrónico similar es capaz de manipular o transformar señales, típicamente representadas como cantidades físicas electrónicas, eléctricas o magnéticas dentro de memorias, registros u otros dispositivos de almacenamiento de información., dispositivos de transmisión o dispositivos de visualización del ordenador de propósito especial o dispositivo informático electrónico de propósito especial similar.

[0042] Los términos "y" y "o" como se usan en el presente documento, pueden incluir una variedad de significados que también se espera que dependan, al menos en parte, del contexto en el que se usan dichos términos. Típicamente, "o" si se usa para asociar una lista, como A, B o C, significa A, B y C, aquí utilizado en el sentido inclusivo, así como A, B o C, aquí utilizado en el sentido exclusivo. Además, el término "uno o más" como se usa en el presente documento puede usarse para describir cualquier característica, estructura o rasgo en singular o puede usarse para describir alguna combinación de características, estructuras o rasgos. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que este es simplemente un ejemplo ilustrativo y el tema reivindicado no se limita a este ejemplo. Además, el término "al menos uno de", si se usa para asociar una lista, como A, B o C, puede interpretarse como cualquier combinación de A, B y/o C, como A, AB, AA, AAB, AABCCCC, etc.

[0043] Habiendo descrito varios modos de realización, pueden usarse diversas modificaciones, construcciones alternativas y equivalentes sin apartarse de la divulgación. Por ejemplo, los elementos anteriores pueden ser simplemente un componente de un sistema más grande, en el que otras reglas pueden tener prioridad sobre o modificar la aplicación de la invención. Además, se pueden realizar varios pasos antes, durante o después de considerar los elementos anteriores. En consecuencia, la descripción anterior no limita el alcance de la divulgación.

REIVINDICACIONES

1. Un sensor óptico que comprende:

una matriz (200) de dispositivos de avalancha de fotones individuales, SPAD, (210) que tiene una pluralidad de filas y una pluralidad de columnas, en la que:

cada SPAD tiene un elemento resistivo (410), un elemento capacitivo (420) y un elemento de fotodetección (440), y además comprende una primera entrada, una segunda entrada y una salida, en el que:

el elemento resistivo y el elemento de fotodetección están conectados en serie entre la primera entrada y la segunda entrada; y

el elemento capacitivo está conectado entre la salida y un nodo entre el elemento resistivo y el elemento de fotodetección;

cada fila de la pluralidad de filas tiene un transistor de selección de fila correspondiente (220) que, cuando se activa, hace que la primera entrada de cada SPAD en la fila reciba un voltaje de polarización;

cada columna de la pluralidad de filas tiene una columna correspondiente: seleccionar transistor (230) conectado con la segunda entrada de cada SPAD en la columna y que tiene una salida de columna correspondiente; y

para cada columna, la salida de cada SPAD en la columna está conectada con la salida de la columna para esa columna.

2. El sensor óptico según la reivindicación 1, en el que el elemento de fotodetección de cada SPAD comprende un fotodiodo de avalancha, APD.

3. El sensor óptico según la reivindicación 1, en el que los transistores de selección de fila y los transistores de selección de columna comprenden transistores de unión bipolar, BJT.

4. El sensor óptico según la reivindicación 1, en el que los transistores de selección de fila y los transistores de selección de columna comprenden transistores de efecto de campo, FET.

5. El sensor óptico según la reivindicación 1, en el que cada SPAD comprende una resistencia acoplada entre el elemento capacitivo y la salida del SPAD.

6. El sensor óptico según la reivindicación 1, en el que cada salida de columna está conectada además a una entrada de un amplificador de impedancia trans.

7. Un procedimiento para activar una parte de una matriz de dispositivos de avalancha de fotones individuales, SPAD, que tienen una pluralidad de filas y una pluralidad de columnas según las reivindicaciones 1 a 6, comprendiendo el procedimiento:

activar (510) la parte de la matriz de SPAD proporcionando un voltaje de polarización a cada SPAD en un subconjunto de la pluralidad de filas y un subconjunto de la pluralidad de columnas; y

leer (520) una salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD.

8. El procedimiento según la reivindicación 7, que comprende además usar una unidad de procesamiento para proporcionar el voltaje de polarización a cada SPAD en el subconjunto de la pluralidad de filas y el subconjunto de la pluralidad de columnas activando los transistores de selección de fila y selección de columna.

9. Un aparato que comprende:

una matriz de dispositivos de avalancha de fotones individuales, SPAD, que tiene una pluralidad de filas y una pluralidad de columnas, en las que:

cada SPAD tiene un elemento resistivo, un elemento capacitivo y un elemento de fotodetección, y además comprende una primera entrada, una segunda entrada y una salida, en el que:

el elemento resistivo y el elemento de fotodetección están conectados en serie entre la primera entrada y la segunda entrada; y

el elemento capacitivo está conectado entre la salida y un nodo entre el elemento resistivo y el elemento de fotodetección;

5 medios para activar una parte de la matriz de SPAD proporcionando un voltaje de polarización entre la primera entrada, conectada en una fila correspondiente, y la segunda entrada, conectada en una columna correspondiente, de cada SPAD en un subconjunto de la pluralidad de filas y un subconjunto de la pluralidad de columnas; y

10 medios para leer una salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD, en el que, para cada columna, la salida de cada SPAD en la columna está conectada con la salida de columna para esa columna.

10. El aparato según la reivindicación 9, en el que cada SPAD comprende un fotodiodo de avalancha, APD.

15 11. El aparato según la reivindicación 9, en el que los medios para activar la parte de una matriz de SPAD comprenden transistores de unión bipolar de selección de fila, BJT y BJT de selección de columna.

20 12. El aparato según la reivindicación 9, en el que los medios para activar la parte de una matriz de SPAD comprenden transistores de efecto de campo de selección de fila, FET y FET de selección de columna.

13. El aparato según la reivindicación 9, en el que cada SPAD comprende medios para proporcionar una resistencia eléctrica acoplada entre un medio capacitivo y la salida del SPAD

25 14. El aparato según la reivindicación 9, en el que los medios para leer la salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD comprenden además medios para amplificar la salida de cada una de la pluralidad de columnas en la matriz de SPAD.

30 15. El aparato según la reivindicación 9, en el que los medios para activar la parte de una matriz de SPAD comprenden medios de procesamiento para proporcionar el voltaje de polarización a cada SPAD en el subconjunto de la pluralidad de filas y el subconjunto de la pluralidad de columnas activando los transistores de selección de fila y selección de columna.

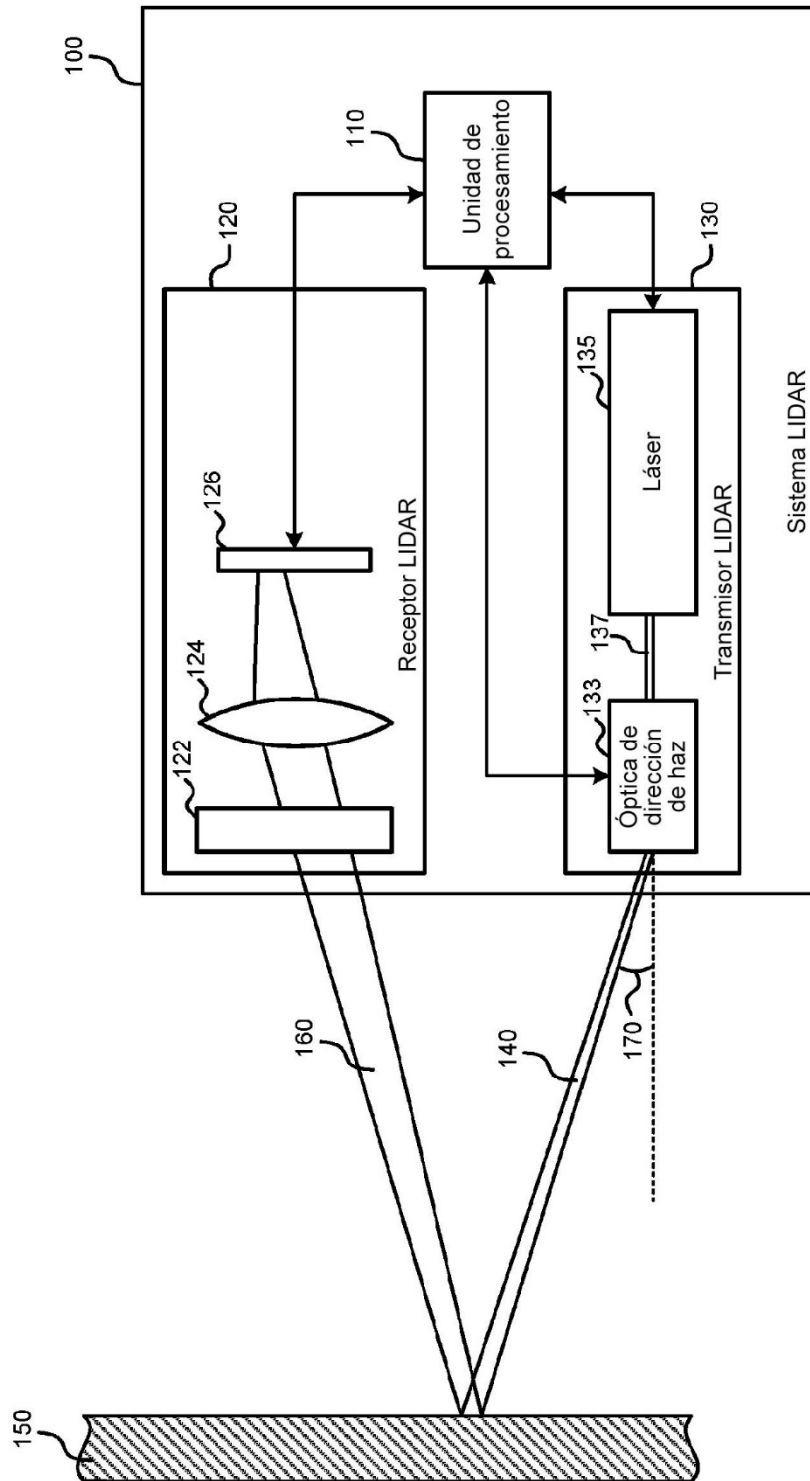


FIG. 1

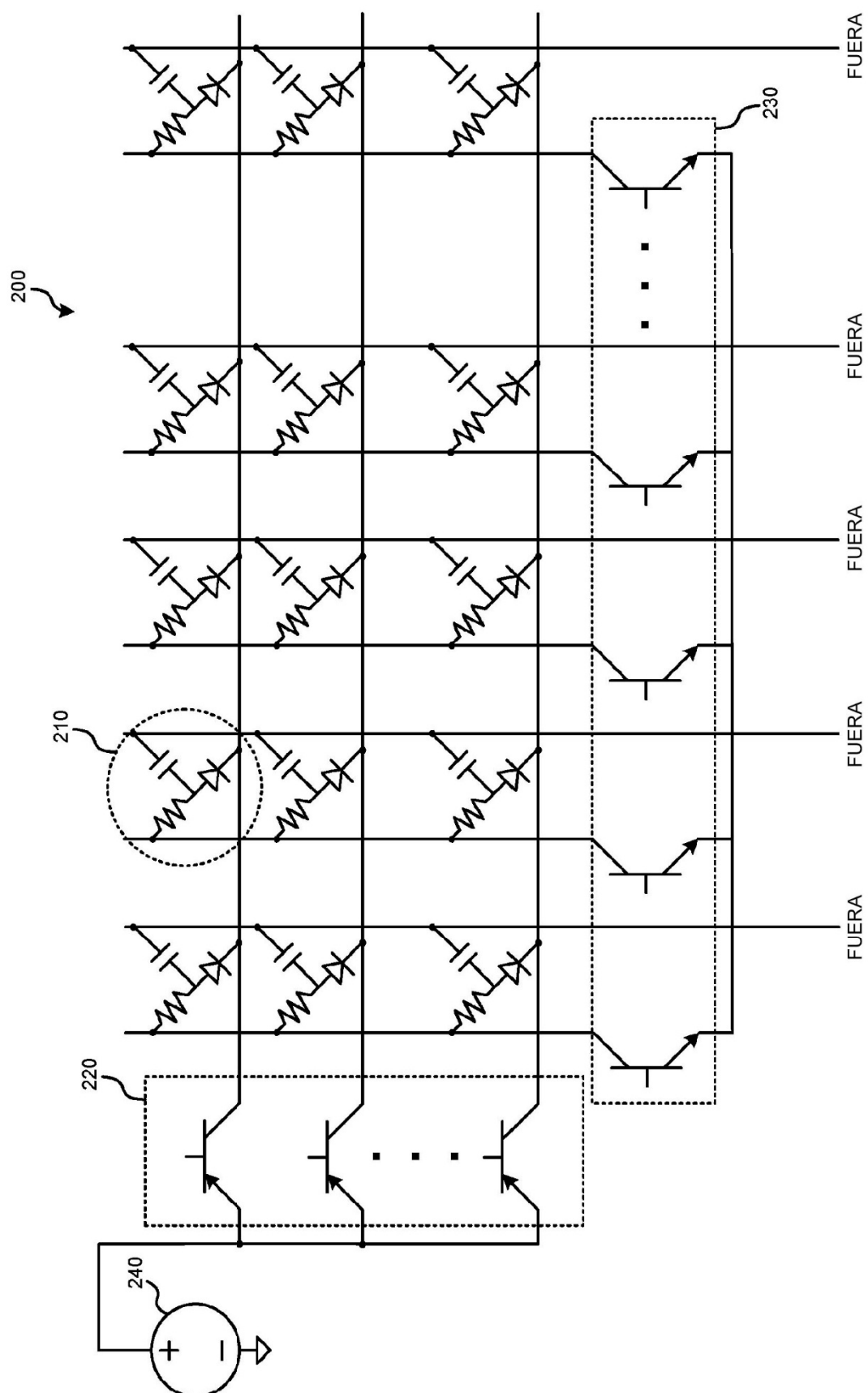


FIG. 2

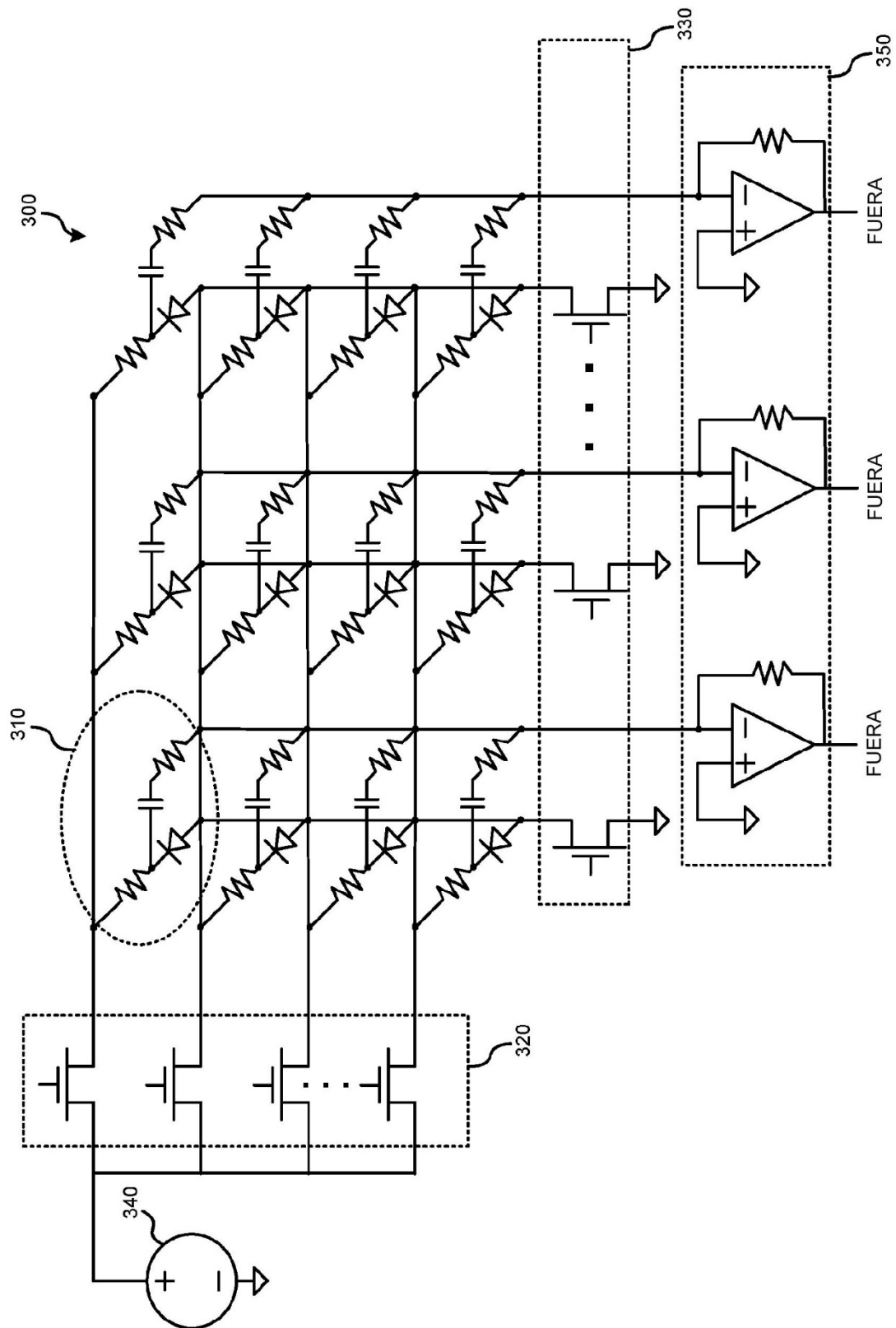


FIG. 3

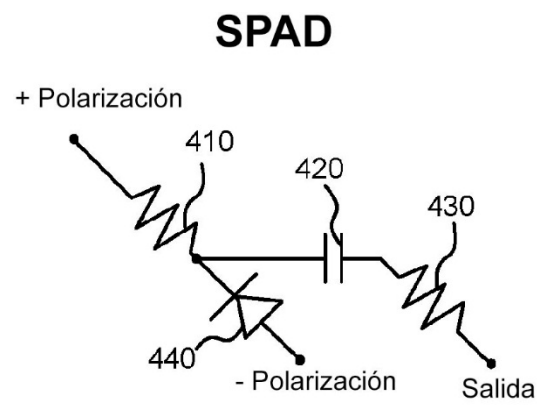


FIG. 4

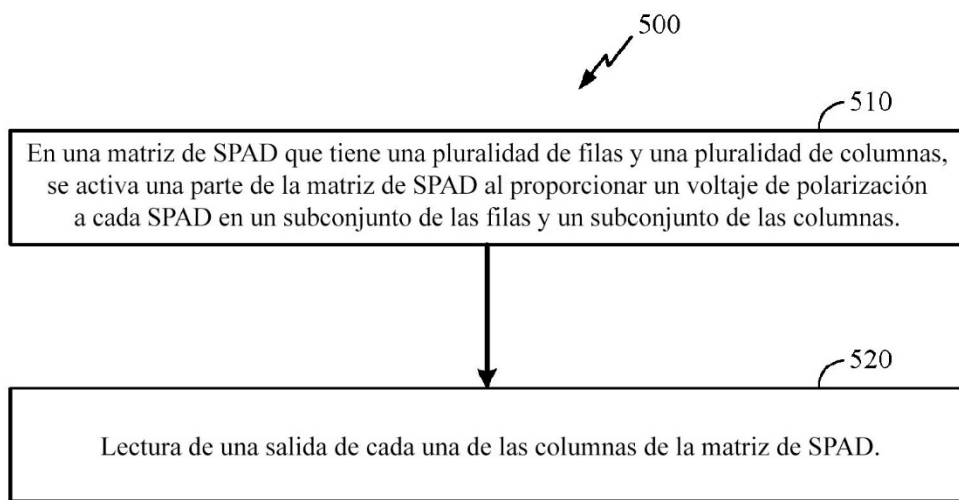


FIG. 5