

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 614 108**

51 Int. Cl.:

G01C 15/00	(2006.01)
G01C 3/08	(2006.01)
G01S 17/08	(2006.01)
H01L 31/107	(2006.01)
G01S 17/10	(2006.01)
G01S 17/89	(2006.01)
G01S 7/481	(2006.01)
G01S 7/486	(2006.01)
G01S 7/491	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.07.2010 PCT/EP2010/060212**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **17.03.2011 WO11029645**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2010 E 10734971 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016 EP 2475958**

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

30 Prioridad:

11.09.2009 DE 102009029372

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

29.05.2017

73 Titular/es:

**ROBERT BOSCH GMBH (100.0%)
Postfach 30 02 20
70442 Stuttgart, DE**

72 Inventor/es:

**EISELE, ANDREAS;
WOLST, OLIVER y
SCHMIDTKE, BERND**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 614 108 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

Dispositivo para la medición óptica de la distancia

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un dispositivo de medición para medir una distancia entre el dispositivo de medición y un objeto de destino con la ayuda de una radiación de medición óptica.

Antecedentes de la invención

10 Se conocen aparatos ópticos de medición de la distancia que orientan un rayo de luz modulado temporalmente a un objeto de destino del que se pretende determinar la distancia respecto al aparato de medición. La luz de vuelta dispersada o reflejada por el objeto de destino localizado es detectada, al menos en parte, por el aparato, y utilizada para determinar la distancia que medir. Así, un intervalo de medición típico se sitúa en un intervalo de distancias que va desde unos pocos centímetros hasta varios cientos de metros.

15 Para poder medir la distancia hasta el objeto de destino con un rayo de luz, se puede modular temporalmente, por ejemplo, la intensidad del rayo de luz. Por ejemplo, se pueden emitir pulsos de luz y medir el tiempo de propagación de un pulso de luz desde la emisión hasta la detección y, a partir de ello, calcular la distancia al objeto de destino. Sin embargo, se tienen que emitir pulsos de luz muy cortos y emplear elementos electrónicos de detección muy rápidos para poder obtener resultados de medición lo suficientemente exactos. De forma alternativa, se puede modular temporalmente de manera periódica la intensidad de un rayo de luz y utilizar un desplazamiento de fase entre la señal de luz emitida y la detectada para determinar el tiempo de propagación y, con ello, la distancia al objeto de destino. El principio de la medición de la distancia por láser se conoce en general por el nombre de «Time of Flight Ranging» (medición del tiempo de vuelo), por ejemplo, con una modulación continua de la intensidad del rayo de luz.

25 Se conocen además las denominadas cámaras tridimensionales (3D), en las que, además de una representación óptica de un objeto que capturar, también se detecta la distancia en cuestión de un área de la superficie del objeto que capturar a la cámara. Para ello, la cámara comprende una unidad óptica de representación de imágenes que proyecta de forma nítida una imagen del objeto sobre una superficie de un detector dispuesto detrás. Así, el detector comprende una pluralidad de píxeles dispuestos en forma de matriz. De esta forma, cada uno de los píxeles puede proporcionar una información de la imagen, como por ejemplo, un color o una intensidad de luz de la luz reflejada por un área superficial del objeto de destino. Además, se puede proporcionar una información sobre la distancia entre la cámara y el área superficial correspondiente del objeto de destino. Para ello se puede iluminar el objeto de destino con una radiación láser modulada temporalmente y utilizar la radiación que se refleja de vuelta y se representa en el detector con la ayuda de una unidad óptica de representación de imágenes para determinar una información resuelta espacialmente mediante distancias a las respectivas áreas superficiales del objeto de destino determinando el tiempo de vuelo.

35 Sin embargo, una cámara tridimensional de este tipo necesita, además de un detector con resolución espacial con una pluralidad de píxeles, una unidad óptica de representación de imágenes para representar exactamente cada área superficial del objeto de destino en un píxel, de forma que la señal de detección proporcionada por este píxel se pueda consultar para determinar la distancia al área superficial en cuestión. Ello requiere una unidad óptica de enfoque relativamente compleja, así como la posibilidad de realizar un análisis individual de las señales de detección de cada uno de los píxeles.

40 Por el contrario, los aparatos simples de medición de la distancia solo se utilizan para determinar una distancia entre el aparato de medición y el objeto de destino o un punto del objeto de destino al que se apunta con un rayo láser. En este caso, la distancia no se tiene que determinar de forma espacialmente resuelta. Normalmente basta con determinar una distancia media. A menudo, estos aparatos de medición de la distancia se incorporan en aparatos de mano para, por ejemplo, determinar dentro de un espacio la distancia de un lugar determinado a objetos de destino de su alrededor, como por ejemplo, paredes u objetos de decoración. Así, un aparato de medición de la distancia de mano debe comprender, preferentemente, una construcción robusta, económica y lo más simple posible, y permitir un manejo sencillo.

50 Por DE 10 2006 013 290 A1 se conoce un dispositivo para la medición óptica de la distancia, en el que un detector de una unidad de recepción comprende una pluralidad de superficies fotosensibles separadas entre sí que se pueden activar separadas unas de las otras. Así, cada una de las superficies fotosensibles comprende un fotodiodo, por ejemplo, un diodo PIN o un APD (Avalanche Photo Diode, fotodiodo de avalancha), o un chip CCD como elemento fotosensible. Estos elementos fotosensibles determinan una señal de detección analógica que corresponde a una intensidad de la luz recibida. Las superficies fotosensibles se pueden activar de forma selectiva y, de esta forma, combinar en una superficie de detección conjunta que se pueda adaptar de la mejor forma posible a

un área parcial de la superficie del detector iluminada por una fuente de luz para así mejorar una relación señal-ruido.

5 Puesto que el aparato de medición de la distancia convencional descrito utiliza elementos fotosensibles, como por ejemplo, diodos PIN o APD (Avalanche Photo Diode) que proporcionan una señal de medición analógica con un gran ancho de banda, puede que sea necesario utilizar un elemento electrónico de análisis complejo para analizar estas señales de medición analógicas. Los elementos fotosensibles que funcionan de forma analógica no suelen ser compatibles con una tecnología CMOS utilizados de otro modo en un aparato de medición.

10 US 7.301.608 B1 divulga un sistema LADAR (Light Radar) de representación de imágenes basado en cuenta de fotones. Para ello, el sistema de US 7.301.608 B1 cuenta con un transmisor óptico que emite un pulso láser hacia un blanco y un sistema de recepción que detecta la señal de medición que vuelve del blanco por medio de una matriz de diodos de avalancha que se ponen en funcionamiento en modo Geiger. La señal de láser de vuelta se distribuye uniformemente sobre la superficie de la matriz de detección mediante un elemento difusor óptico, de forma que la matriz se ilumina de manera homogénea. A partir de la pluralidad de sucesos detectados en el modo Geiger se determina la distancia del dispositivo al blanco a través de un procesador de una unidad de determinación de la distancia.

Divulgación y posibles formas de realización de la invención

20 Es posible que exista una necesidad de un dispositivo de medición para la medición óptica de la distancia que, particularmente en comparación con los aparatos de medición de la distancia convencionales descritos anteriormente, permita una construcción simplificada de los componentes electrónicos utilizados en su interior, particularmente, de componentes de análisis para analizar señales de detección. Además, puede que exista una necesidad de un dispositivo de medición de la distancia que se pueda fabricar con una única tecnología de fabricación, por ejemplo, una tecnología CMOS.

Además, puede que exista la necesidad de un dispositivo de medición de la distancia que comprenda en la medida de lo posible al menos una de las siguientes ventajas:

- 25 – extensión de la tolerancia de ajuste de una unidad óptica de recepción del dispositivo de medición de la distancia respecto a un detector;
- reducción de la complejidad y de los requisitos de una unidad óptica de recepción;
- aumento del rango dinámico, particularmente en la medición de pequeñas distancias;
- optimización de la relación señal-ruido, particularmente en la medición de grandes distancias; y/o
- 30 – reducción de la superficie del chip de un circuito integrado necesario para el análisis.

35 El dispositivo de medición según la invención para la medición óptica de la distancia comprende un dispositivo de emisión para emitir una radiación de medición óptica hacia un objeto de destino, un dispositivo de recepción con una superficie de detección para detectar la radiación de medición óptica que vuelve del objeto de destino y un dispositivo de análisis. La superficie de detección del dispositivo de recepción comprende una pluralidad de píxeles, de forma que cada píxel comprende al menos un SPAD (Single Photon Avalanche Diode; diodo de avalancha de detección de un solo fotón). Cada uno de la pluralidad de píxeles está conectado de forma directa o indirecta al dispositivo de análisis mediante otros elementos de construcción interpuestos. El dispositivo de emisión y el dispositivo de recepción están diseñados de forma que la radiación de medición óptica que vuelve del objeto de destino ilumina respectivamente una pluralidad de píxeles al mismo tiempo en el uso previsto del dispositivo de medición de la distancia. El dispositivo de análisis está diseñado para determinar una distancia entre el dispositivo de medición y el objeto de destino basándose en un análisis de las señales de detección de varios píxeles, particularmente, de varios de los píxeles iluminados al mismo tiempo.

45 El dispositivo de emisión puede ser una fuente de luz, por ejemplo, en forma de LED, de un láser o un diodo láser que emita luz hacia el objeto de destino de forma temporalmente modulada. En este caso, la modulación temporal puede efectuarse de forma continua y/o periódica, por ejemplo, de forma sinusoidal. También se pueden emitir trenes de pulsos, por ejemplo no periódicos, como por ejemplo en forma de las denominadas secuencias de pulsos de pseudoruido.

50 El dispositivo de recepción se puede diferenciar de los dispositivos de recepción utilizados en los aparatos de medición de la distancia convencionales en que, en lugar de elementos fotosensibles analógicos, que, en su caso, se pueden conectar entre sí para proporcionar una señal analógica conjunta, se puede proporcionar una pluralidad

de píxeles dentro de una superficie de detección, de forma que cada píxel contenga uno o varios SPAD. Como se explica más abajo de manera más detallada, un SPAD es un elemento fotosensible que envía una señal de detección digital en función de una intensidad de luz incidente. Así, cada uno de los píxeles puede unirse al dispositivo de análisis directamente o, por ejemplo, por conexión intermedia de un multiplexor diseñado para transmitir de manera selectiva señales de recepción de varios píxeles. De esta manera se puede conseguir, por ejemplo, que las señales de detección de píxeles individuales o de un grupo de píxeles puedan ser analizadas por el dispositivo de análisis con independencia de las señales de detección de otros píxeles.

El dispositivo de emisión y el dispositivo de recepción están diseñados y adaptados el uno al otro de forma que la radiación de medición óptica que vuelve del objeto de destino ilumina al mismo tiempo una pluralidad de píxeles en condiciones de medición normales, es decir, por ejemplo a distancias de medición que van desde unos pocos centímetros hasta algunos cientos de metros.

En este caso, el hecho de que se ilumine al mismo tiempo una pluralidad de píxeles no se debe utilizar, como en las cámaras 3D convencionales, para detectar una imagen del objeto de destino o una resolución espacial respecto a la distancia a algunas áreas parciales de una superficie del objeto de destino, sino que debe permitir, como se explica más abajo con mayor detalle, entre otras, ventajas con respecto a la sensibilidad de detección y/o a la tolerancia de ajuste. La distancia entre el dispositivo de medición y el objeto de destino se determina basándose en un análisis de señales de detección de varios píxeles, particularmente, de varios de los píxeles iluminados al mismo tiempo.

Para ello, el dispositivo de emisión puede emitir un rayo de medición cuya sección transversal sea lo suficientemente grande como para que la parte del rayo de medición que vuelve del objeto de destino ilumine siempre una pluralidad de píxeles. Para concentrar la radiación de medición que vuelve del objeto de destino y dirigirla a la superficie de detección para así conseguir una señal de detección lo suficientemente fuerte, se puede proporcionar una unidad óptica simple dentro de un trayecto óptico desde el dispositivo de emisión hasta el dispositivo de recepción, por ejemplo, en forma de una o varias lentes. Esta unidad óptica simple se puede diseñar de manera económica y poco compleja como una unidad óptica de enfoque no automático («de foco fijo»). Como una unidad óptica de enfoque no automático de este tipo con distancia focal fija solo puede enfocar de manera óptima, es decir, con el menor diámetro de punto luminoso, un rayo de medición que vuelve del objeto de destino en la superficie de detección del dispositivo de recepción cuando el objeto de destino se encuentra a la distancia objeto respecto al dispositivo de medición que corresponde a la distancia focal y al plano de imagen, la cantidad de píxeles que son iluminados al mismo tiempo por la radiación de medición que vuelve del objeto de destino puede variar en función de la distancia entre el objeto de destino y el objeto de medición. Por ejemplo, la optimización del sistema óptico de recepción para recibir la radiación de medición de objetos de destino alejados a una gran distancia objeto puede significar que se pueda seleccionar la distancia focal y la distancia de imagen de forma que se consiga la condición de representación geométrica para la gran distancia objeto. Con ello, en el caso de una gran distancia, se puede obtener el menor diámetro posible del punto luminoso en el plano de imagen («la representación es nítida»). Estableciendo la distancia focal y el plano de imagen, la cantidad de píxeles que se iluminan en el caso de un objeto de destino que esté situado más cerca puede ser significativamente mayor que en el caso de un objeto de destino alejado. En un objeto situado más cerca, la radiación de medición de vuelta puede no seguir representándose de forma nítida, de manera que el área iluminada de la superficie de detección se puede volver consiguientemente mayor.

Puesto que las señales de detección de los píxeles individuales se pueden analizar de forma independiente entre sí, el dispositivo de recepción y el dispositivo de análisis se pueden diseñar para determinar una distancia entre el dispositivo de medición y el objeto de destino basándose en un análisis de las señales de detección exclusivamente de píxeles en los que se refleja la luz de la superficie del objeto de destino iluminada por el dispositivo de emisión. Dicho de otro modo, el dispositivo de análisis puede, por ejemplo, determinar primero en una medición previa cuáles de los píxeles de la superficie de detección reciben efectivamente radiación de medición del dispositivo de emisión y cuáles de los píxeles solo detectan radiación de fondo, y a continuación puede utilizar únicamente las señales de detección de los píxeles iluminados por la radiación de medición para la determinación efectiva de la distancia. Con ello se puede aumentar considerablemente la relación señal-ruido.

Para poder determinar la distancia entre el dispositivo de medición y el objeto de destino, el dispositivo de análisis puede comprender al menos un dispositivo de determinación de la distancia (en parte también conocido como «proceso de binning»). El dispositivo de determinación de la distancia se puede diseñar para determinar la duración de vuelo de la radiación de medición entre la emisión desde el dispositivo de emisión y la detección de la radiación de medición que vuelve del objeto de destino en la superficie de detección y determinar la distancia como resultado. Para ello, el dispositivo de determinación de la distancia puede comparar una información proporcionada por el dispositivo de emisión sobre la modulación temporal de la radiación de medición emitida con las señales de detección proporcionadas por el dispositivo de recepción. En el caso de una radiación de medición emitida modulada periódicamente se puede, por ejemplo, determinar la distancia correspondiente a partir de la diferencia de fase entre una señal de emisión y una señal de detección.

En principio, un único dispositivo de determinación de la distancia puede ser suficiente para determinar una distancia entre el dispositivo de medición y el objeto de destino. Para mantener baja la cantidad de dispositivos de

determinación de la distancia puede ser ventajoso dirigir las señales de detección de los píxeles individuales o de un grupo de píxeles, por ejemplo, con la ayuda de un multiplexor, una detrás de la otra a un dispositivo de determinación de la distancia. Un procesamiento secuencial de este tipo de señales de detección puede prolongar la duración total de medición. De forma alternativa, se puede asignar a cada uno de los píxeles un dispositivo de determinación de la distancia propio. En este caso, se puede determinar una distancia de cada una de las señales de detección de la pluralidad de píxeles, posiblemente de forma temporalmente paralela la una respecto a la otra, y determinar por último, a partir de la pluralidad de distancias determinadas, por ejemplo, mediante promediación, una distancia entre el dispositivo y el objeto de destino que determinar finalmente. Sin embargo, para ello puede que sea necesario proporcionar una cantidad muy grande de dispositivos de determinación de la distancia en el dispositivo de medición, lo que puede hacer que la construcción y la fabricación del dispositivo de medición se vuelvan complejas.

Por así decirlo, como solución intermedia entre estas dos alternativas extremas se puede unir una pluralidad de píxeles a un dispositivo de determinación de la distancia, y el dispositivo de determinación de la distancia se puede diseñar para determinar la distancia basándose en señales de detección de la pluralidad de píxeles. El dispositivo de análisis puede comprender una pluralidad de dispositivos de determinación de la distancia y estar diseñado para determinar la distancia entre el dispositivo de medición y el objeto de destino basándose en las distancias determinadas por los dispositivos de determinación de la distancia, por ejemplo, formando un valor medio.

Un SPAD puede comprender la propiedad de no enviar una señal de detección linealmente dependiente de la radiación incidente, como hacen los elementos fotosensibles convencionales analógicos, sino de que genere una única señal con cada fotón incidente. Después de que incida un fotón, el SPAD no se puede volver a activar durante cierto tiempo muerto, que puede situarse en el intervalo de, por ejemplo, 1 a 100 ns. También se suele hablar de una respuesta paralizable. Con ello, la tasa de cuenta a la que un SPAD puede contar fotones incidentes está limitada hacia arriba por el tiempo muerto. Por ello, puede ser ventajoso proporcionar, en lugar de un único SPAD con una gran superficie, varios SPAD más pequeños dentro de un píxel y, por ejemplo, combinar las señales de detección de los SPAD incluidos en un único píxel con la ayuda de un combinador. En este aspecto, el combinador se puede configurar, por ejemplo, en forma de una puerta OR o en forma de un bus. De este modo se puede aumentar la tasa de cuenta de fotones máxima alcanzable por el píxel o, dicho de otro modo, reducir el tiempo muerto del píxel entre sucesos de detección individuales. Además, se puede disponer un reductor de pulso entre un SPAD y un combinador o bus para reducir temporalmente una señal digital generada por el SPAD y, de esa forma, permitir una reducción del tiempo muerto total y un aumento de la tasa de cuenta de fotones del sistema.

La cantidad de SPAD o la superficie de los SPAD incluidos en un píxel se puede seleccionar de manera variable dentro de la superficie de detección del dispositivo de recepción en función del lugar en el que se encuentre el píxel. Por ejemplo, puede que sea conocido que la radiación de medición que vuelve del objeto de destino puede incidir en la superficie de detección del dispositivo de recepción en otra posición y/o con otra superficie de sección transversal en función de la distancia del objeto de destino al dispositivo de medición. Por consiguiente, se puede adaptar la cantidad o la superficie de los SPAD dentro de un píxel a la intensidad de luz de incisión esperada en función del lugar. Adaptando las superficies de los SPAD y/o la cantidad de SPAD dentro de un píxel se puede optimizar el intervalo dinámico del dispositivo de medición. Adaptando las superficies de los píxeles a un tamaño de punto de láser se puede optimizar la relación señal-ruido.

Si en el trayecto de luz se dispone, por ejemplo, una unidad óptica de enfoque no automático entre el dispositivo de emisión y el dispositivo de recepción que esté diseñada para enfocar de manera óptima o para representar objetos de destino alejados, la radiación de medición de vuelta se puede enfocar con un diámetro de punto o de punto luminoso pequeño para objetos de destino alejados. Dentro de un área de este tipo de la superficie de detección puede ser ventajoso que cada uno de los píxeles incluya solo un SPAD o solo unos pocos SPAD. Si se tiene que apuntar a objetos más cercanos con un dispositivo de medición de foco fijo de este tipo, la radiación de medición de vuelta no se puede enfocar como un punto pequeño en la superficie de detección, sino que incide posiblemente de manera desenfocada en una superficie parcial mayor de la superficie de detección. En conjunto, en este caso se iluminan más píxeles que en el caso de un objeto de destino alejado. Por ello puede ser ventajoso concentrar una pluralidad de SPAD en un único píxel (o «submatriz» o «clúster» de SPAD) en áreas al margen del área parcial iluminada de la superficie de detección.

Por ejemplo, el dispositivo de emisión y el dispositivo de recepción se pueden disponer uno al lado del otro a lo largo de un eje de paralaje. Los sistemas de medición biaxiales de este tipo pueden tener la ventaja de que no se necesita ninguna división laboriosa de la radiación para seleccionar la radiación de medición de vuelta. En este caso, el rayo de medición emitido por el dispositivo de emisión y que vuelve del objeto de destino puede incidir en la superficie de detección en otro punto a lo largo del eje de paralaje en función de la distancia del objeto de destino y comprender distintas secciones transversales. En este caso, puede ser ventajoso variar la cantidad de SPAD incluidos en un píxel en función del lugar en el que se encuentre el píxel a lo largo del eje de paralaje. Particularmente, puede ser ventajoso seleccionar la cantidad de SPAD incluidos en un píxel para que sea menor en los píxeles cercanos al dispositivo de emisión que en los píxeles alejados del dispositivo de emisión.

De forma alternativa, el dispositivo de emisión y el dispositivo de recepción se pueden disponer de manera coaxial el uno respecto al otro. En un dispositivo de medición monoaxial de este tipo se puede conseguir, por ejemplo, con la ayuda de un espejo semitransparente, que el centro del área de la superficie de detección iluminada por la radiación de vuelta permanezca en su mayoría espacialmente constante con independencia de la distancia del objeto de destino. Sin embargo, la sección transversal del área iluminada en la superficie de detección puede seguir dependiendo de la distancia del objeto de destino. En el caso de objetos de destino muy alejados y de una unidad óptica con una distancia focal amplia, se puede producir un punto iluminado pequeño, mientras que en el caso de objetos de destino más cercanos, se puede producir un punto iluminado mayor. Puede ser ventajoso seleccionar la cantidad de SPAD incluidos en un píxel para que sea menor en los píxeles cercanos al centro de la superficie de detección que en los píxeles alejados del centro de la superficie de detección.

Anteriormente se han descrito posibles aspectos, ventajas y configuraciones de la invención haciendo referencia a formas de realización individuales de la invención. La descripción, las figuras correspondientes, así como las reivindicaciones contienen numerosas características combinadas. Un experto en la materia considerará estas características, particularmente también las características de distintos ejemplos de realización, de forma individual y las reunirá en otras combinaciones posibles.

Breve descripción de las figuras

A continuación se describen formas de realización de la invención y aspectos parciales incluidos en ellas haciendo referencia a las figuras adjuntas. Las figuras son únicamente esquemáticas y no se presentan a escala real. Los números de referencia iguales o parecidos en las figuras identifican elementos iguales o parecidos.

La Figura 1 muestra un dispositivo de medición para la medición óptica de la distancia según una forma de realización de la presente invención.

La Figura 2 muestra, a modo de ejemplo, una dependencia de una tasa de cuenta de un SPAD en función de una tasa de fotones absorbidos por píxel.

La Figura 3 muestra un circuito esquemático de dos SPAD conectados a un combinador para un dispositivo de medición según una forma de realización de la presente invención.

La Figura 4 muestra una respuesta de tres SPAD y de un bus conectado a ellos considerando tiempos muertos de un dispositivo de medición según una forma de realización de la presente invención.

La Figura 5 muestra, a modo de ejemplo, una tasa de cuenta total en un bus conectado a varios SPAD en función de una tasa de fotones absorbidos por píxel.

La Figura 6 muestra una vista superior de una superficie de detección de un dispositivo de recepción para un dispositivo de medición según una forma de realización de la presente invención.

La Figura 7 muestra una vista superior de una superficie de detección alternativa de un dispositivo de recepción para un dispositivo de medición según una forma de realización de la presente invención.

La Figura 8 muestra un único SPAD que está conectado a un dispositivo de determinación de la distancia.

La Figura 9 muestra dos SPAD que están conectados a un dispositivo de determinación de la distancia mediante un multiplexor.

La Figura 10 muestra dos píxeles con 9 SPAD cada uno que están conectados a un dispositivo de determinación de la distancia mediante combinadores y multiplexores.

La Figura 11 muestra una superficie de detección de un dispositivo de recepción con píxeles, en los que la cantidad de SPAD incluidos en los píxeles varía en función del lugar y que están conectados a varios dispositivos de determinación de la distancia mediante combinadores y multiplexores.

Descripción detallada de las formas de realización

La Figura 1 representa de forma esquemática un dispositivo de medición 10 para la medición de la distancia óptica con los componentes más importantes para describir su funcionamiento.

El dispositivo de medición 10 comprende una carcasa 11 en la que se dispone un dispositivo de emisión 12 para emitir una radiación de medición óptica 13, así como un dispositivo de recepción 14 para detectar una radiación de

medición 16 que vuelve del objeto de destino 15.

5 El dispositivo de emisión 12 contiene una fuente de luz que se realiza mediante un diodo láser semiconductor 18 en el ejemplo de realización representado. El diodo láser 18 emite un rayo láser 20 en forma de un haz de luz 22 visible para el ojo humano. Para ello, el diodo láser 18 se pone en funcionamiento mediante un aparato de control 24 que genera una modulación temporal de una señal de entrada 19 eléctrica del diodo láser 18 mediante un elemento electrónico apropiado. Mediante la modulación de la corriente del diodo de este tipo se puede conseguir modular también temporalmente la intensidad de la radiación de medición óptica 13 que se utiliza para medir la distancia como se desee.

10 A continuación, el haz del rayo láser 20 atraviesa una unidad óptica de colimación 26 en forma de objetivo 28, que en la Figura 1 se representa de manera simplificada en forma de una única lente. En este ejemplo de realización, el objetivo 28 se encuentra opcionalmente en una unidad de graduación 32 que permite en principio modificar la posición del objetivo en las tres direcciones espaciales, por ejemplo, para su ajuste. Sin embargo, de forma alternativa, la unidad óptica de colimación 26 también puede ser ya un componente del diodo láser 18 o estar conectada a este de forma fija.

15 Después de atravesar el objetivo 28 se obtiene una señal, por ejemplo, modulada en su amplitud, de la radiación de medición 13 en forma de un haz de luz 37 casi paralelo que se extiende a lo largo de un eje óptico 38 de la unidad de emisión 12.

20 Además, en el dispositivo de emisión 12 se puede encontrar un elemento de desviación 40 del rayo preferentemente separable que permite desviar directamente hacia el dispositivo de recepción 14 la radiación de medición 13 total o parcialmente evitando el objeto de destino 15, es decir, dentro del aparato. De esta forma se puede generar una trayectoria de referencia 42 dentro del aparato que permita una calibración o una compensación del dispositivo de medición.

25 Al desarrollarse una medición de la distancia con el dispositivo de medición 10, la radiación de medición 13 abandona la carcasa 11 del dispositivo de medición por una ventana óptica 44 en la pared frontal 45 del dispositivo de medición 10. La abertura de la ventana óptica 44 puede estar protegida, por ejemplo, por un obturador 46. A continuación, para la medición real se orienta el dispositivo de medición 10 a un objeto de destino 15 cuya distancia 48 al dispositivo de medición 10 se desea determinar. La señal 16 dispersada o reflejada en el objeto de destino 15 deseado forma una radiación de medición óptica 16 de vuelta en forma de haz de rayos 49 o 50 de vuelta que vuelve de nuevo al dispositivo de medición 10 en cierta parte.

30 Mediante la ventana de entrada 47 en el lado frontal 45 del dispositivo de medición 10 se acopla la radiación de medición 16 de vuelta al dispositivo de medición 10 e incide, como se muestra en la Figura 1, en una unidad de recepción 52.

35 En la Figura 1 se señalan, para su aclaración, dos haces de rayos de medición 49 o 50 a modo de ejemplo de dos distancias a objetos de destino 48 distintas. Para grandes distancias de objetos, en donde grande se puede interpretar como grande respecto a la distancia focal de la unidad óptica de recepción 52, la radiación de medición 16 que vuelve del objeto de destino 15 incide de forma aproximadamente paralela al eje óptico 51 del dispositivo de recepción 14. Este caso se representa en el ejemplo de realización de la Figura 1 mediante el haz de rayos de medición 49. Con una distancia al objeto que se vuelve más pequeña, la radiación de medición 16 de vuelta que incide en el dispositivo de medición se inclina cada vez más respecto al eje óptico 51 del dispositivo de recepción 14 debido a una paralaje. Como ejemplo de un haz de rayos de medición de vuelta de este tipo en la zona cercana al dispositivo de medición se señala el haz de rayos 50 en la Figura 1.

45 La unidad óptica de recepción 52 igualmente simbolizada únicamente de manera esquemática en la Figura 1 mediante una única lente enfoca el haz de rayos de la radiación de medición 16 de vuelta a la superficie de detección 66 de un detector de recepción 54 proporcionado en el dispositivo de recepción 14. Para detectar la radiación de medición óptica, el detector 54 comprende una pluralidad de píxeles. Cada uno de los píxeles comprende al menos un SPAD fotosensible. Mediante los SPAD proporcionados en la superficie de detección 66, que se disponen de forma individual o agrupados en píxeles en forma de matriz y se conectan a un dispositivo de análisis 36, la radiación de medición 16 incidente de vuelta se transforma en una señal eléctrica 55 y se alimentan para el posterior análisis en el dispositivo de análisis 36. Así, la señal eléctrica 55 se puede considerar, debido a las propiedades inherentes de los SPAD, como una señal digital que reproduce una tasa de cuenta de los fotones que inciden en los respectivos píxeles de la superficie de detección 66.

55 Las señales de detección generadas por un solo SPAD o por una combinación de SPAD pueden alimentarse a uno o varios dispositivo(s) de determinación de la distancia incluidos en un dispositivo de análisis 36. El dispositivo de determinación de la distancia puede sumar las señales de detección y generar a partir de ello una señal que corresponda a una intensidad dependiente del tiempo de la intensidad de la luz o de la señal de la luz que incide en

el respectivo SPAD. Relacionando esta señal con una señal de excitación que indique el transcurso temporal de la tasa de fotones emitida por el dispositivo de emisión se puede deducir un tiempo de vuelo de fotones desde el dispositivo de emisión hasta el objeto de destino y de nuevo hacia el dispositivo de recepción. En el caso de que el dispositivo de emisión module periódicamente la luz emitida, por ejemplo, de forma sinusoidal, se puede determinar un tiempo de vuelo a partir de una diferencia de fase entre la radiación de medición emitida y la detectada.

En el campo de la optoelectrónica, el término «single photon avalanche diode» (SPAD), a veces también denominado diodo de avalancha de detección de un solo fotón, fotodiodo de avalancha en modo Geiger o G-APD, se utiliza para una clase de fotodetectores de cuerpos sólidos basados en una unión pn polarizada en la dirección opuesta en la que, posiblemente, un único soporte de carga generado por un fotón puede activar una corriente en forma de avalancha debido a un mecanismo de ionización por impacto. Una diferencia básica entre un SPAD y un fotodiodo de avalancha convencional (APD) puede ser que el SPAD puede estar diseñado específicamente para funcionar a una polarización en la dirección opuesta que se sitúe por encima de la tensión de ruptura (breakdown voltage) del diodo. Este modo operativo también se denomina modo en Geiger, por analogía a un contador Geiger. En polarizaciones altas de este tipo, el campo eléctrico de la unión pn puede ser tan fuerte que un único soporte de carga inyectado en la zona de empobrecimiento puede activar una corriente de avalancha autosostenida. La corriente puede aumentar a un nivel macroscópico, por ejemplo, en el intervalo de mA, en un espacio de tiempo de menos de 1 ns. La corriente se puede mantener hasta que la avalancha se amortigüe («quenching») reduciendo la polarización a un nivel por debajo de la tensión de ruptura y, de esta forma, se detenga la corriente de avalancha. En este aspecto, un circuito de amortiguación simple puede estar formado por una resistencia simple conectada en serie al SPAD. Así, la corriente de avalancha se amortigua a sí misma de forma sencilla debido a la caída de la tensión que produce la resistencia en serie de ohmioje elevado. Después de que se haya amortiguado la corriente de avalancha, la polarización del SPAD se recupera y el SPAD se puede volver a activar. Sin embargo, mientras que la corriente de avalancha está activa y durante la amortiguación y la subsiguiente recuperación de la polarización, el SPAD puede no ser capaz de detectar más fotones durante un tiempo muerto τ .

Por ello, como se representa en la Figura 2, la tasa de cuenta determinada por un único SPAD puede ser aproximadamente proporcional a una tasa baja de fotones absorbidos en el caso de una tasa baja de absorción de fotones. No obstante, la tasa de cuenta empieza a saturarse a una tasa de absorción de fotones de algo menos que el tiempo muerto inverso $1/\tau$. En tasas de absorción de fotones más altas aumenta incluso la tasa de cuenta, hasta que se colapsa completamente por encima de una tasa de absorción de fotones en, por ejemplo, el intervalo por encima de 10^2 MHz, puesto que, en los casos de tasas de absorción de fotones tan altas, el SPAD se vuelve a activar antes de que se haya recuperado completamente la tensión y, con ello, no se puede producir ninguna interrupción de la corriente de avalancha. De esta forma, la eficiencia de un detector paralizante, como un SPAD, aumenta considerablemente en corrientes de fotones altas en cuanto la tasa de fotones absorbida por el SPAD sea elevada respecto a un tiempo muerto inverso del SPAD.

De esta forma, con el tamaño de un único SPAD se obtiene un límite máximo de la intensidad detectable máxima (rendimiento por superficie) o de la tasa de fotones o corriente de fotones detectable máxima. La tasa de fotones absorbida por detector se puede reducir distribuyendo el rendimiento de la luz mediante varios SPAD. Con ello se puede mejorar la eficiencia de detección en rendimientos de luz altos, como pueden tener lugar, particularmente, a cortas distancias de medición. En este aspecto, por rendimiento de luz se puede entender todo el rendimiento de luz de la radiación de medición que vuelve del objeto de destino captado por la lente de recepción.

La Figura 3 muestra dos SPAD 101, 101', cuyas señales de detección se transmiten cada una a una puerta OR 103. La puerta OR 103 actúa como un combinador 104 recibiendo tanto las señales de detección del primer SPAD 101 como las señales de detección del segundo SPAD 101' y emitiendo una señal combinada de estas señales de entrada en una salida 105.

La situación puede ser más compleja si se utiliza un combinador que combina las señales de detección de varios SPAD individuales en un bus. El tiempo muerto que se asigna al bus puede provocar pérdidas de eficiencia adicionales en comparación con un análisis completamente paralelo de un conjunto de SPAD. La Figura 4 muestra un contexto posible. En ella se representa la tasa de sucesos 106 en el bus en relación con una tasa 107-1, 107-2, 107-3 de fotones absorbidos en tres SPAD. El tiempo muerto τ_1 de un SPAD es de 50 ns en cada caso, y el tiempo muerto τ_2 del bus es de 10 ns. Se reconoce que, por ejemplo, el suceso de absorción 108 de un fotón mediante un segundo SPAD en el bus no se emite como una señal de cuenta separada, puesto que se incluye en el tiempo muerto τ_2 del bus.

Acortando temporalmente las señales digitales generadas por los distintos SPAD mediante un reductor de pulso se puede reducir el tiempo muerto efectivo de un sistema en conjunto formado por varios SPAD conectados a un bus. Así, el tiempo muerto efectivo del sistema en conjunto resulta de una combinación del tiempo muerto de los SPAD individuales y de la duración de las señales reducidas por los reductores.

En la curva representada en la Figura 5 se representan, a modo de ejemplo, las tasas de cuenta en el bus en función de una tasa de fotones absorbidos por píxel para una combinación de uno, cuatro, nueve o dieciséis SPAD. Así, el tiempo muerto τ_1 de los SPAD es de 50 ns, y el tiempo muerto τ_2 del bus es de 10 ns. Debido al tiempo muerto del bus, el máximo de la familia de curvas con un número en aumento de SPAD combinados alcanza un valor límite (tiempo muerto del bus inverso). Se ve claramente que el tiempo muerto del bus o del combinador representa una variable de optimización. En general, un tiempo muerto del bus de este tipo puede ser claramente menor que el tiempo muerto de un SPAD, de forma que combinar señales de detección de los SPAD puede provocar tasas de cuenta que sean mayores que las tasas de cuenta de un único SPAD. Sin un combinador o un bus, estas tasas de cuenta más elevadas solo se pueden realizar mediante un análisis completamente paralelo con dispositivos de determinación de la distancia adicionales.

La Figura 6 muestra de forma esquemática una superficie de detección 110 de un dispositivo de detección 54 para un dispositivo láser de medición de la distancia con paralaje no corregida. En este aspecto se señalan en la superficie de detección 110 puntos láser 109 o puntos luminosos de láser circulares cuyo diámetro varía en función de una distancia L entre el dispositivo de medición y el objeto de destino. En este aspecto, se consideró como lente ideal una lente con una distancia focal de $f = 30$ mm, un diámetro de $d = 4$ mm y una paralaje de 5 mm para un ajuste óptimo a distancias grandes. Se consideró una radiación láser con una divergencia de 1 mrad. En esta configuración de la superficie de detección 110 resulta ventajoso que el tamaño de los píxeles 111 o la cantidad de SPAD 101 dentro de los respectivos píxeles 111 aumente a lo largo del eje de paralaje 113. En este aspecto, se considera eje de paralaje la recta de corte entre un plano de la superficie de detección y un plano definido por el eje óptico de la unidad óptica de recepción y el eje del rayo láser del dispositivo de medición de la distancia. Se reconoce que, en una primera zona 114 en la que incide el haz láser 109 se proporcionan píxeles pequeños que incluyen cada uno un único SPAD cuando el rayo láser es reflejado por un objeto de destino alejado. En una zona 115 en la que incide el haz láser 109' se proporcionan píxeles más grandes con cuatro SPAD cada uno cuando el objeto de destino está alejado en aproximadamente de 0,5 a 1 m. En otra zona 116 en la que el haz láser 109" incide en objetos de destino muy cercanos, se proporcionan particularmente píxeles grandes con 8 o 16 SPAD. Así, la unidad óptica de recepción se optimiza de manera que se alcanza la mejor calidad de representación posible, es decir, el menor diámetro posible de punto láser en la superficie de detección, a la mayor distancia del objeto de destino.

En distancias grandes el punto láser 109 es relativamente pequeño debido a la representación nítida. Al mismo tiempo, la intensidad de la luz incidente compuesta por la radiación de fondo y la de medición de vuelta es relativamente baja debido a la baja cantidad de radiación de medición del objeto de destino alejado. En el caso de objetos de destino colocados más cerca, se refleja o dispersa en total más radiación de medición del objeto de destino de vuelta a la superficie de detección 110. Al mismo tiempo, la radiación de medición ya no se representa de forma nítida en la superficie de detección 110 debido a la unidad óptica de recepción de foco fijo.

En suma, de una observación geométrica de un medidor de distancia láser con rayo láser ligeramente divergente y unidad óptica de recepción de foco fijo se obtiene, para la parte de la radiación láser recibida, una intensidad de luz en el plano del detector descendente cuadrática en la distancia a grandes distancias y una intensidad de luz en el plano del detector constante en la distancia a bajas distancias. Por el contrario, la cantidad de intensidad de la radiación de fondo no depende de la distancia en una primera aproximación.

Con una configuración espacialmente dependiente del tamaño de los píxeles 101 incluidos en la superficie de detección 110, como se representa en la Figura 6, se puede conseguir, por un lado, que tanto a grandes distancias del objeto de destino como a pequeñas distancias del objeto de destino, un punto láser 109 incida respectivamente en una pluralidad de píxeles 111 y pueda ser analizado por estos. Así, el tamaño de la superficie de detección activa se puede adaptar de manera óptima al tamaño del punto láser y, con ello, optimizar la relación señal-ruido. Por otro lado, con una configuración espacialmente dependiente de este tipo también se puede aprovechar de manera óptima el intervalo dinámico de los SPAD, puesto que la intensidad de luz de la luz incidente (parte del láser y del fondo) es más baja a grandes distancias que a pequeñas distancias. Por ello, en las superficies del detector que solo reciben radiación de medición a pequeñas distancias se puede reducir la superficie de los SPAD individuales. En las áreas del detector en las que la intensidad de la radiación de medición recibida permanece casi constante se puede ampliar la cantidad de SPAD 101 incluidos en los píxeles 111 individuales con una superficie de SPAD constante.

La Figura 7 muestra una forma de realización de una superficie de detección 110' de un medidor de distancia láser coaxial o de un medidor de distancia láser con paralaje corregida. Se puede obtener una corrección de este tipo con la ayuda de un elemento de corto alcance o métodos alternativos conocidos. En tal caso, predomina esencialmente el error de representación mediante la profundidad focal final de la unidad óptica de recepción, de forma que resulta ventajosa una disposición concéntrica de los píxeles del mismo tamaño. Un rayo láser que vuelve de un objeto de destino alejado se enfoca correctamente y genera un punto láser 109 relativamente pequeño en la proximidad del centro 122 de la superficie de detección 110', es decir, cerca del punto de penetración del eje óptico de la unidad óptica de recepción a través del plano de la superficie de detección. Un rayo láser que vuelve de un objeto de destino más cercano genera un punto láser 109" con un diámetro esencialmente mayor. Los píxeles 111 comprenden una superficie en la proximidad del centro 122 y una cantidad de SPAD 101 incluidos en su interior

menor que los alejados del centro 122 de la superficie de detección 110', es decir, al margen de la superficie de detección.

En las Figuras 8 a 10 se representan, en forma de esquema de bloques, unos elementos individuales en la forma en la que se emplean para realizar un dispositivo de recepción según las formas de realización de la presente invención.

La Figura 8 muestra un píxel 111 con un único SPAD 101. El píxel está conectado a un dispositivo de determinación de la distancia 130.

La Figura 9 muestra dos píxeles 111, 111' con un SPAD 101,101' cada uno. Los píxeles 111, 111' se unen a un multiplexor 140 que transmite de forma selectiva las señales de detección enviadas por los píxeles 111, 111' a un dispositivo de determinación de la distancia 130.

En la Figura 10 se representa una disposición de dos píxeles 111, 111' con nueve SPAD 101, 101' cada uno. Cada una de las señales de detección de los SPAD 101, 101' individuales se transmiten, en su caso, después de un retardo temporal causado por elementos de retardo 150, 150' adicionales, a un combinador 160, 160'. El retardo puede servir para compensar diferencias de tiempo de propagación y, con ello, para sincronizar temporalmente los SPAD de un píxel o de varios píxeles. En los combinadores 160, 160' se combinan entre si las señales de detección. Además, las señales generadas por los SPAD se pueden reducir temporalmente con la ayuda de reductores de pulso 155, 155'. Las señales de detección combinadas se transmiten desde los combinadores 160, 160' hasta un multiplexor 140 y, de allí, a un dispositivo de determinación de la distancia 130.

La Figura 11 muestra una forma de realización específica de un dispositivo de medición de la distancia con paralaje corregida que utiliza elementos de este tipo para $N = 92$ píxeles 111. En este aspecto, 48 píxeles comprenden únicamente un SPAD, 24 píxeles comprenden cuatro SPAD cada uno en una disposición de 2×2 y 20 píxeles comprenden 9 SPAD cada uno en una disposición de 3×3 . Cada uno de los píxeles 111 con más de un SPAD 101 se une exactamente a un combinador 160, 160'. Por consiguiente, hay 44 combinadores 160. Las salidas de los píxeles 111 con solo un SPAD o de los combinadores 160 se unen a entradas de multiplexores K 140. A su vez, las salidas de los multiplexores 140 se unen a dispositivos de determinación de la distancia M 130. Así, no se puede aplicar necesariamente ni $M = K$ ni $M = N$. Se representan a modo de ejemplo las uniones de tres píxeles 111 de distinto tamaño y la cantidad de SPAD. Una superficie rayada representada en la Figura 11 indica una superficie del detector 170 efectiva que comprende aquellos píxeles 111 que son iluminados efectivamente por la luz láser del punto láser 109 y mediante los cuales se puede desarrollar una medición de la distancia al objeto de destino.

Por último, se vuelven a resumir, con otras palabras, aspectos y ventajas de las formas de realización de la invención:

Una forma de realización de la invención se basa en la idea central de configurar ventajosamente el tipo de disposición de SPAD individuales en píxeles cuyas señales se combinen antes de alimentarlas a una unidad de análisis temporal (es decir, un dispositivo de determinación de la distancia/un proceso de binning) para su posterior análisis. Así, la cantidad de SPAD cuyas señales se agrupan mediante un combinador forma un píxel.

Los píxeles individuales se pueden poner en funcionamiento de forma independiente entre sí. Particularmente, se puede desarrollar un análisis de fase de una onda continua o, de forma alternativa, un análisis del tiempo de vuelo de un pulso para cada píxel individual.

Una combinación de varios SPAD en píxeles se puede configurar espacialmente de forma que la relación señal-ruido se pueda optimizar tanto a grandes como a pequeñas distancias, particularmente con una fuerte iluminación del fondo con pocos dispositivos de determinación de la distancia. Ello se puede conseguir mediante una adaptación espacialmente dependiente de la superficie de detección del tamaño de los píxeles o de la cantidad de SPAD que se pueden combinar para formar un píxel.

La forma de disponer opcionalmente píxeles con solo un SPAD o píxeles con distintos tamaños y cantidades de SPAD optimizada específicamente para aumentar la relación señal-ruido en un medidor de distancia láser representa una de las características diferenciadoras tanto respecto a los medidores de distancia láser convencionales como respecto a las cámaras 3D. Esta disposición puede reducir los requisitos de ajuste de una unidad óptica dentro del dispositivo de medición y, al mismo tiempo, contribuir a una relación señal-ruido optimizada, también en los casos en los que el dispositivo de recepción no se sitúe en el plano de imagen de la unidad óptica, como puede suceder, por ejemplo, en el caso de sistemas de foco fijo.

Una superficie de detección se puede dimensionar con el tamaño necesario para que se puedan reducir los requisitos de ajuste de la unidad óptica de recepción. Además, la influencia de los errores de representación óptica, particularmente, de los errores por desenfoque, se puede minimizar debido a una profundidad focal menor. De esta

forma se pueden reducir los requisitos para la calidad óptica de la unidad óptica de recepción.

5 Otra ventaja puede ser la optimización de la relación señal-ruido, particularmente, a grandes distancias de medición con grandes partes de luz de fondo. Ello se puede conseguir adaptando óptimamente, es decir, minimizando, al tamaño del haz de medición láser representado realmente en el plano de detección la superficie de detección efectiva en todas las distancias. Una vez completada la medición se pueden analizar de forma selectiva las señales solo de aquellos SPAD o píxeles con varios SPAD individuales que hayan recibido efectivamente radiación láser. Con ello se puede reducir la superficie de detección efectiva y minimizar la cantidad de ruido de la luz de fondo, lo que puede significar una mejora de la relación señal-ruido.

10 Otra ventaja puede consistir en que son necesarios menos dispositivos de determinación de la distancia como SPAD dentro de un píxel debido a la combinación de varios SPAD. Ello puede reducir la superficie necesaria para el chip de un circuito integrado. Particularmente, en medidores de distancia láser que funcionan normalmente con una distancia focal fija, esta ventaja puede tener un papel importante, puesto que el diámetro del punto láser puede así variar en función de la distancia del objeto de destino. La Figura 6 muestra esto para un sistema en el que el error de paralaje no está corregido. Por consiguiente, para optimizar la relación señal-ruido, como se ha descrito
15 anteriormente, minimizando la superficie de detección efectiva, puede ser necesaria solo una resolución del detector más baja en diámetros mayores del punto láser, es decir, normalmente a distancias más bajas del objeto de destino. Esta circunstancia se puede aprovechar mediante la combinación espacialmente dependiente de SPAD para formar píxeles.

20 Puesto que la superficie de detección efectiva, es decir, la superficie que se toma en consideración en el análisis de la medición, es normalmente menor que la superficie de detección en su conjunto, la cantidad de dispositivos de determinación de la distancia necesarios se puede reducir aún más utilizando, además de la combinación de SPAD, un multiplexor. En este caso, con la ayuda de las mediciones provisionales se pueden identificar en un primer momento los píxeles que reciban la radiación láser y, a continuación, distribuirlos en los dispositivos de determinación de la distancia para la medición real. Si N es la cantidad total de píxeles con uno o varios SPAD y M
25 la cantidad de los dispositivos de determinación de la distancia disponibles para el análisis, se deben desarrollar como máximo N/M mediciones provisionales, de forma redondeada, para la identificación. Por ello, la tarea de medición se puede desarrollar con pocas mediciones; en un caso ideal, con una única medición.

Otra ventaja puede ser que los píxeles individuales se puedan calibrar de forma independiente entre sí, por ejemplo, en relación con un desplazamiento de fase.

30

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de medición (10) para la medición óptica de la distancia, particularmente, dispositivo de medición manual, que comprende:

un dispositivo de emisión (12) para emitir una radiación de medición óptica (13) a un objeto de destino (15);
 un dispositivo de análisis (36) que comprende al menos un dispositivo de determinación de la distancia (130) diseñado para determinar un tiempo de vuelo de la radiación de medición (13, 16) entre una emisión desde el dispositivo de emisión (12) y una detección de la radiación de medición (16) que vuelve del objeto de destino (15) y determinar a partir de ello una distancia, un dispositivo de recepción (14) con una superficie de detección (110) para detectar la radiación de medición óptica (16) que vuelve del objeto de destino (15), en donde la superficie de detección (110) comprende una pluralidad de píxeles (111), en donde cada uno de los píxeles (111) comprende al menos un diodo de avalancha de detección de un solo fotón (SPAD, Single Photon Avalanche Diode) (101) y en donde cada uno de la pluralidad de píxeles (111) está conectado al dispositivo de análisis (36);
 en donde el dispositivo de emisión (12) y el dispositivo de recepción (14) están diseñados de forma que la radiación de medición óptica (16) que vuelve del objeto de destino (15) ilumina una pluralidad de píxeles (111) al mismo tiempo;
 en donde el dispositivo de análisis (36) está además diseñado para determinar una distancia (48) entre el dispositivo de medición (10) y el objeto de destino (15) basándose en un análisis de señales de detección de varios píxeles (111), en donde las señales de detección de los píxeles (111) son generadas por los SPAD (101),

caracterizado por que el dispositivo de análisis (36) puede comprender una pluralidad de dispositivos de determinación de la distancia (130) y el dispositivo de análisis (36) está diseñado para determinar la distancia (48) entre el dispositivo de medición (10) y el objeto de destino (15) basándose en las distancias determinadas por los dispositivos de determinación de la distancia (130).

2. Dispositivo de medición según la reivindicación 1, en donde una pluralidad de píxeles (111) se conecta a un dispositivo de determinación de la distancia (130) y el dispositivo de determinación de la distancia (130) se diseña para determinar una distancia basándose en señales de detección de la pluralidad de píxeles (111).

3. Dispositivo de medición según una de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos algunos píxeles (111) contienen una pluralidad de SPAD (101) cada uno.

4. Dispositivo de medición según la reivindicación 3, que comprende además al menos un combinador (160) diseñado para combinar señales de detección de SPAD (101) incluidos en un único píxel (111).

5. Dispositivo de medición según la reivindicación 3 o 4, que comprende además al menos un reductor de pulso para reducir temporalmente una señal digital generada por un SPAD.

6. Dispositivo de medición según la reivindicación 3, 4 o 5, en donde la cantidad de SPAD (101) incluidos en un píxel (111) varía en función del lugar del píxel (111) dentro de la superficie de detección (110) del dispositivo de recepción (14).

7. Dispositivo de medición según una de las reivindicaciones 3 a 6, en donde la superficie de los SPAD incluidos en un píxel (111) varía en función del lugar del píxel (111) dentro de la superficie de detección (110) del dispositivo de recepción (14).

8. Dispositivo de medición según la reivindicación 6 o 7, en donde el dispositivo de emisión (12) y el dispositivo de recepción (14) se disponen uno al lado del otro a lo largo de un eje de paralaje (113) y en donde la cantidad de SPAD (101) incluidos en un píxel (111) varía en función del lugar a lo largo del eje de paralaje (113).

9. Dispositivo de medición según la reivindicación 6, 7 u 8, en donde la cantidad de SPAD (101) incluidos en un píxel (111) es más pequeña en los píxeles (111) cercanos al dispositivo de emisión (12) que en los píxeles (111) alejados del dispositivo de emisión (12).

10. Dispositivo de medición según una de las reivindicaciones 6 a 9, en donde la cantidad de SPAD (101) incluidos en un píxel (111) es más pequeña en los píxeles (111) cercanos al centro (122) de la superficie de detección (110) que en los píxeles (111) alejados del centro (122) de la superficie de detección (110).

11. Dispositivo de medición según una de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el dispositivo de emisión (12) y el dispositivo de recepción (14) se configuran de forma que una cantidad de píxeles (111) que se ilumina mediante la radiación de medición óptica (16) que vuelve del objeto de destino (15) varía con relación a la distancia (48) entre el objeto de destino (15) y el dispositivo de medición (10).

12. Dispositivo de medición según una de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende además una unidad óptica de enfoque no automático (52) para conducir la radiación de medición óptica (16) que vuelve del objeto de destino a la superficie de detección (110).
- 5 13. Dispositivo de medición según una de las reivindicaciones 1 a 12, en donde el dispositivo de recepción (14) y el dispositivo de análisis (36) se diseñan para que las señales de detección de píxeles (111) individuales se puedan analizar con independencia de las señales de detección de otros píxeles (111) mediante el dispositivo de análisis (36).
- 10 14. Dispositivo de medición según una de las reivindicaciones 1 a 13, en donde el dispositivo de recepción (14) y el dispositivo de análisis (36) se diseñan para determinar una distancia (48) entre el dispositivo de medición (10) y el objeto de destino (15) basándose en un análisis de señales de detección únicamente de píxeles (111) dentro de una superficie de detección (170) efectiva en la que se refleja la luz de la superficie del objeto de destino iluminada por el dispositivo de emisión.
- 15 15. Dispositivo de medición según una de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende además, al menos, un multiplexor (140) que se diseña para transmitir de forma selectiva señales de detección de varios píxeles (111) al dispositivo de análisis (36).

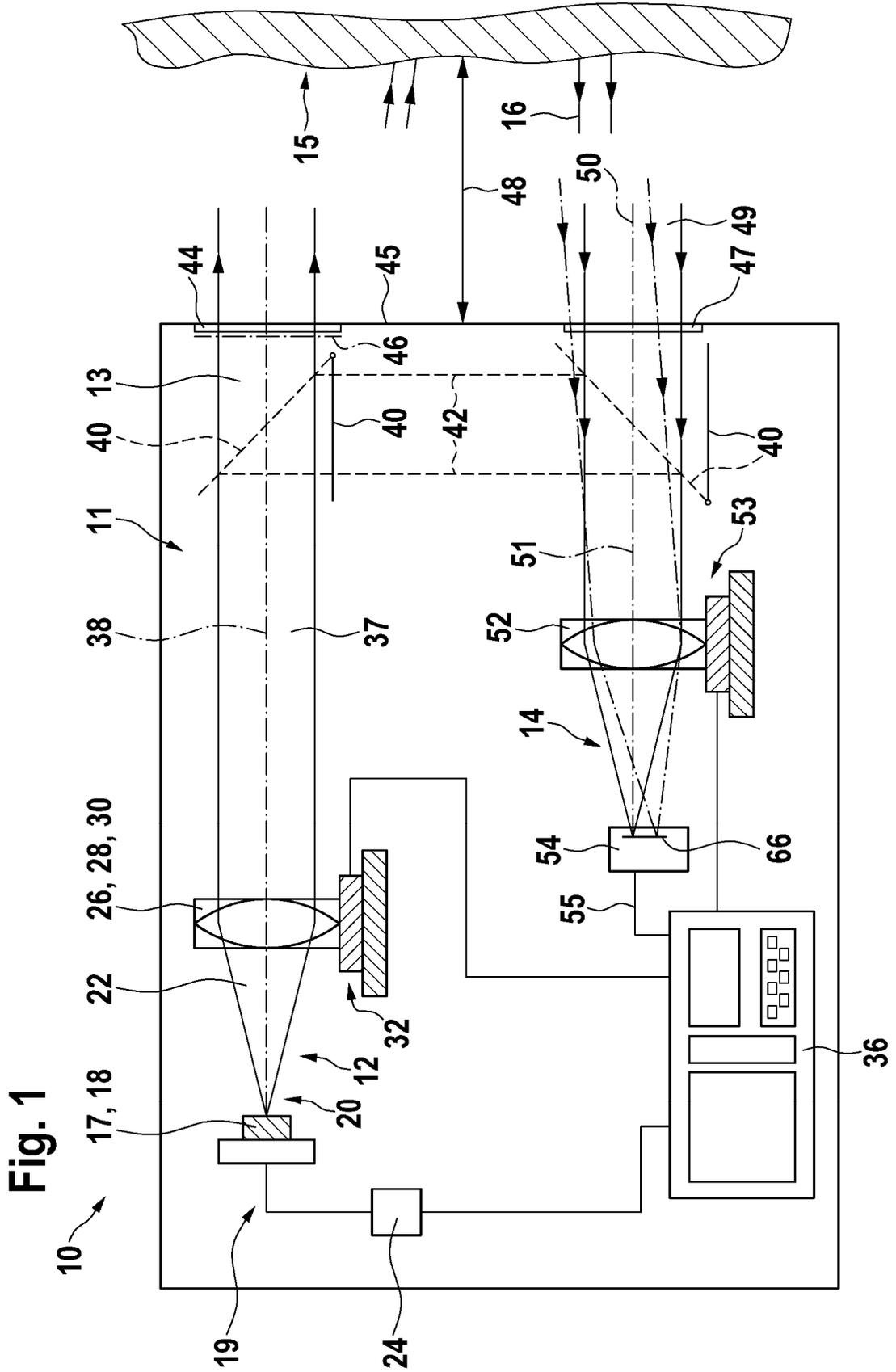


Fig. 2

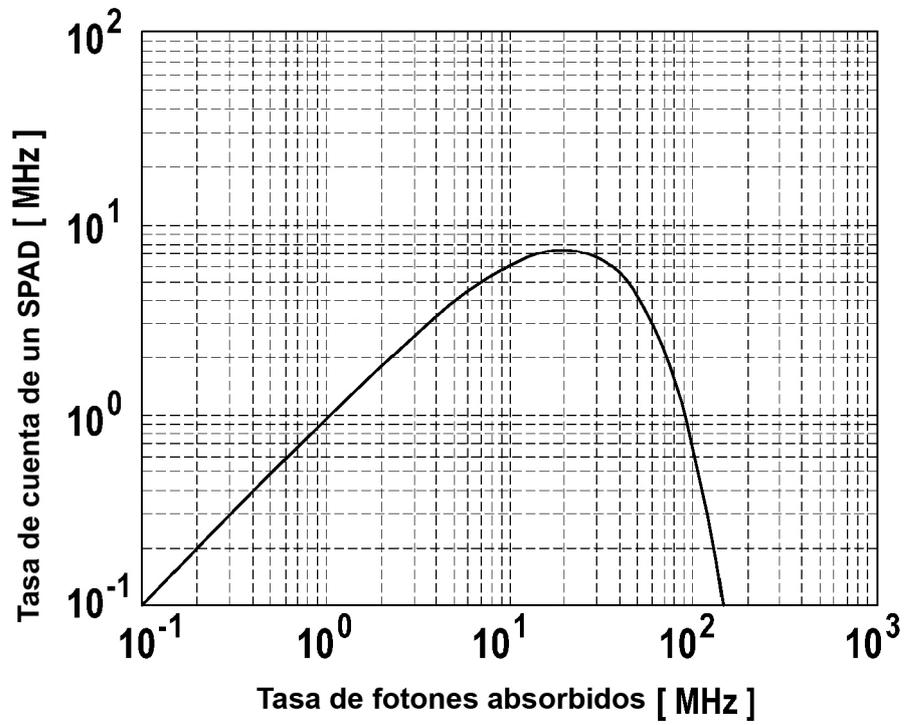


Fig. 3

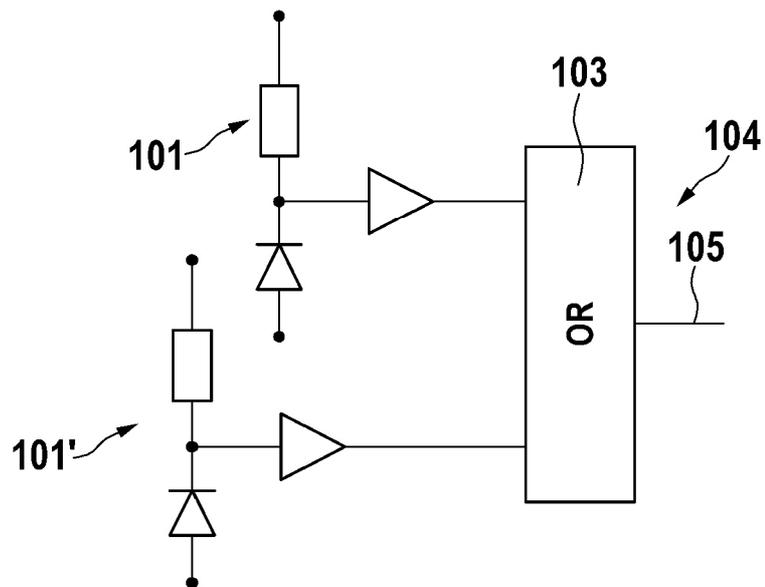


Fig. 4

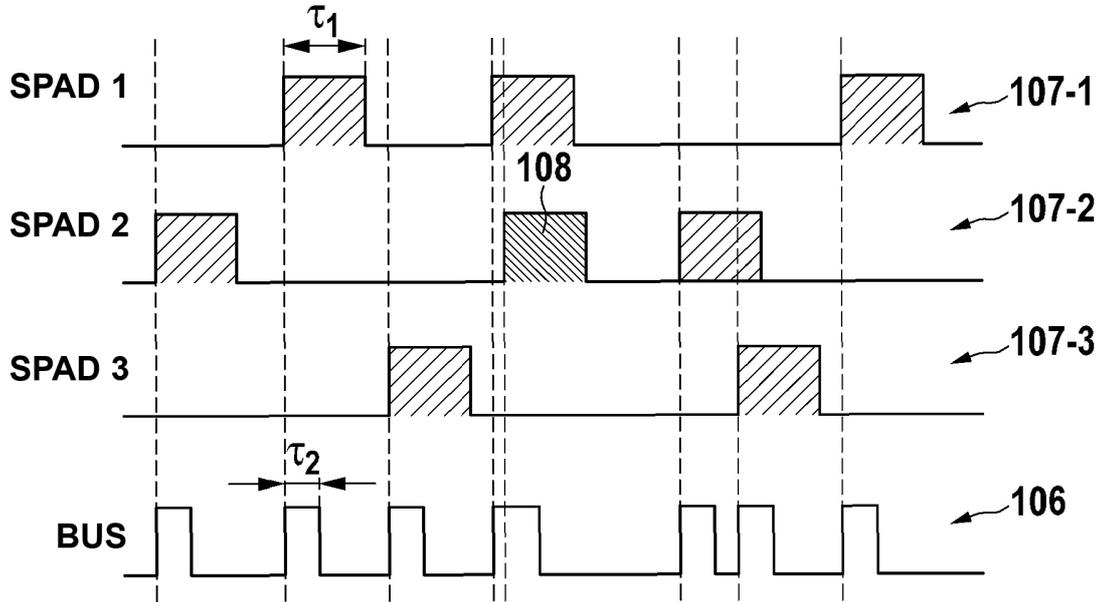


Fig. 5

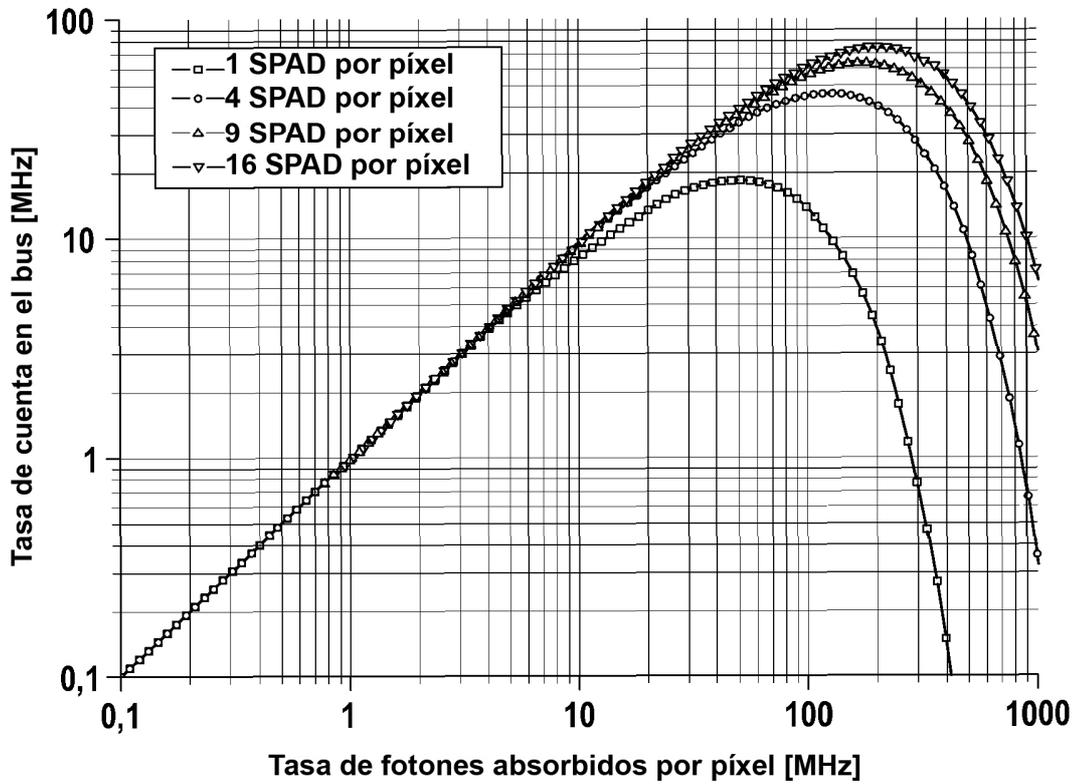


Fig. 6

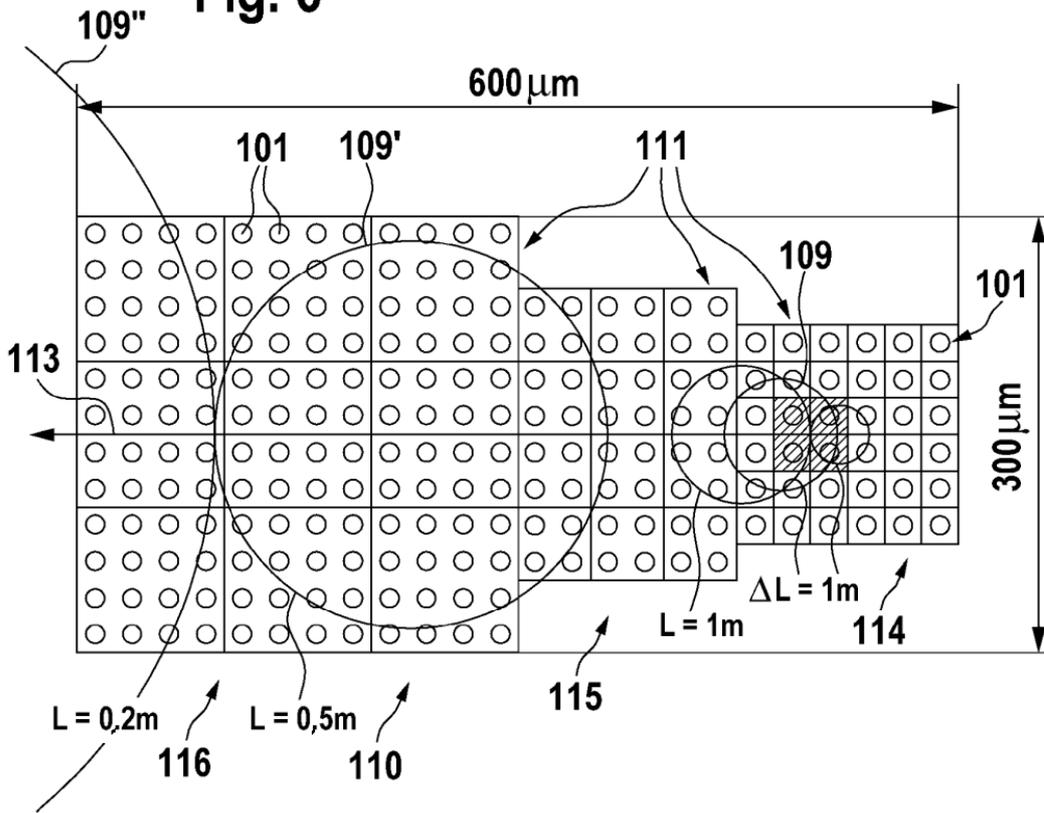


Fig. 7

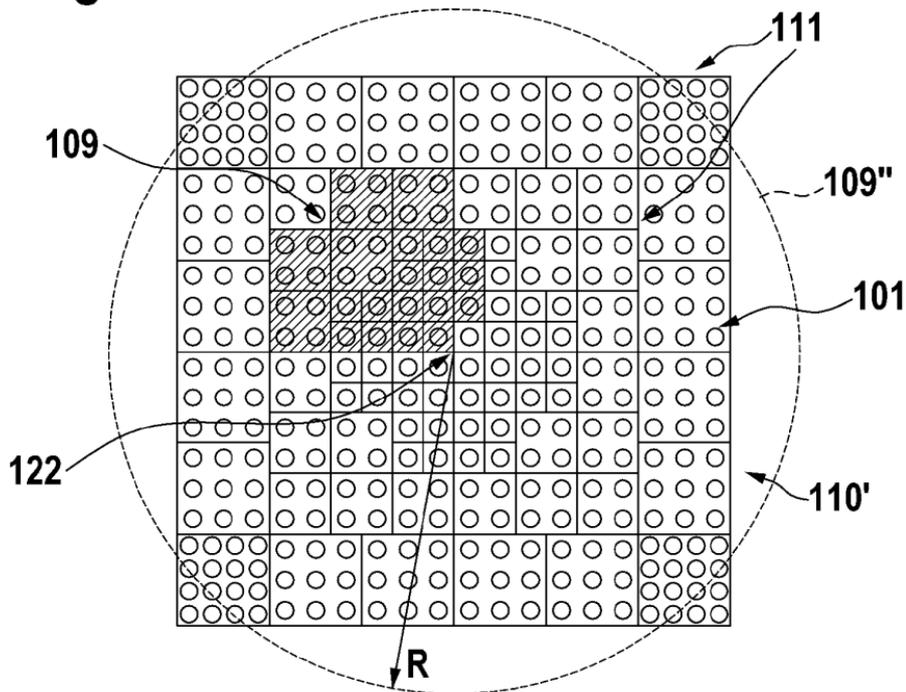


Fig. 8

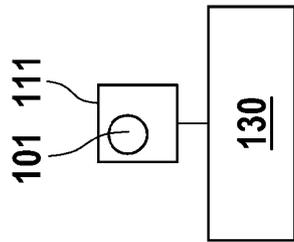


Fig. 9

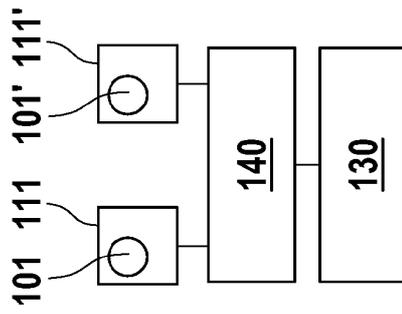


Fig. 10

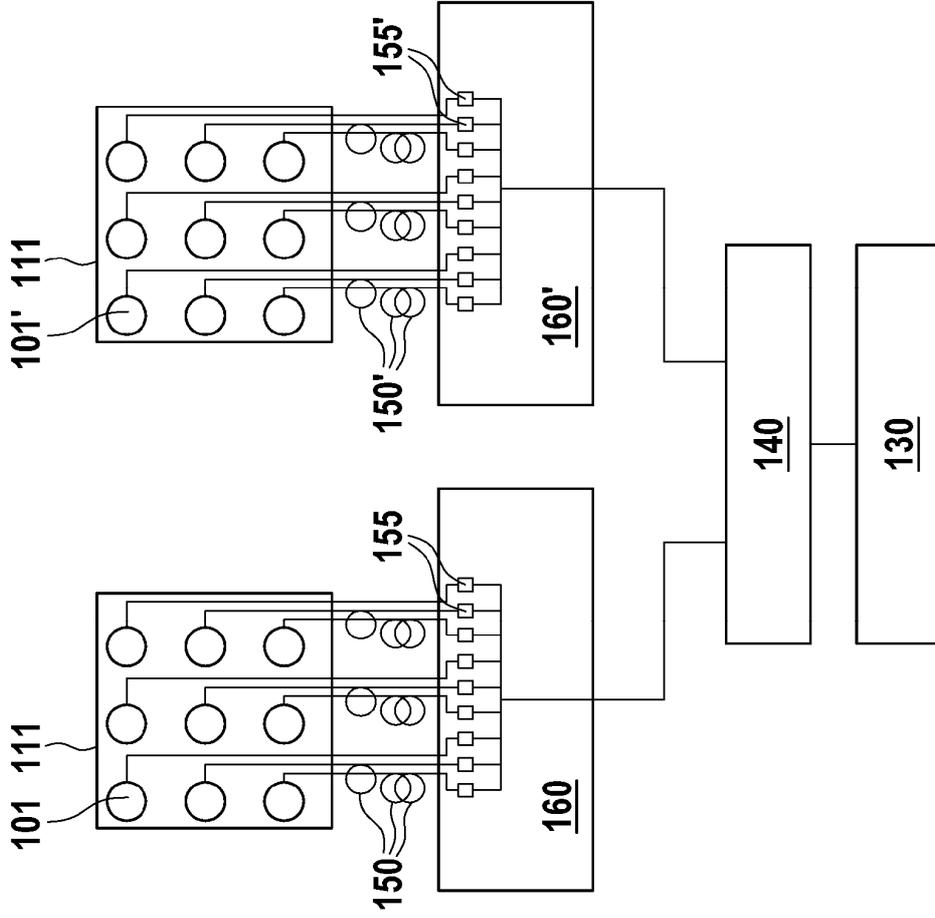


Fig. 11

