

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 795 831**

51 Int. Cl.:

G01T 1/16 (2006.01)

G01T 1/17 (2006.01)

G01T 1/24 (2006.01)

G01N 23/083 (2008.01)

A61B 6/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.04.2015 PCT/CN2015/075950**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.10.2016 WO16161544**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.04.2015 E 15888101 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2020 EP 3281039**

54 Título: **Detector de rayos X semiconductor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.11.2020

73 Titular/es:

**SHENZHEN XPECTVISION TECHNOLOGY CO., LTD. (100.0%)
Suite 201, Building B52, Tanglang Industrial Area,
No. 13 at No. Five Xinyi Road, Tanglang
Community, Taoyuan Str. Nanshan District
Shenzhen, Guangdong 518071, CN**

72 Inventor/es:

CAO, PEIYAN

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ POU, Felipe

ES 2 795 831 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

5 Detector de rayos X semiconductor

Campo técnico

10 La presente descripción se refiere a detectores de rayos X, particularmente a detectores de rayos X semiconductores.

Antecedentes de la invención

15 Los detectores de rayos X pueden ser dispositivos utilizados para medir el flujo, la distribución espacial, el espectro u otras propiedades de los rayos X.

20 Los detectores de rayos X pueden usarse para muchas aplicaciones. Una aplicación importante es la formación de imágenes. La formación de imágenes de rayos X es una técnica de radiografía y puede usarse para revelar la estructura interna de un objeto opaco y de composición no uniforme, tal como el cuerpo humano.

25 Los primeros detectores de rayos X de formación de imágenes incluyen placas fotográficas y películas fotográficas. Una placa fotográfica puede ser una placa de vidrio con un recubrimiento de emulsión fotosensible. Aunque las placas fotográficas fueron reemplazadas por películas fotográficas, aún pueden usarse en situaciones especiales debido a la calidad superior que ofrecen y su extrema estabilidad. Una película fotográfica puede ser una película de plástico (por ejemplo, una tira o lámina) con un recubrimiento de emulsión fotosensible.

30 En la década de 1980, estuvieron disponibles las placas de fósforo fotoestimulables (placas PSP). Una placa PSP puede contener un material de fósforo con centros de color en su enrejado. Cuando la placa PSP se expone a los rayos X, los electrones excitados por los rayos X quedan atrapados en los centros de color hasta que son estimulados por un rayo láser que explora la superficie de la placa. A medida que la placa se escanea con láser, los electrones excitados atrapados emiten luz, que se recoge mediante un tubo fotomultiplicador. La luz recogida se convierte en una imagen digital. A diferencia de las placas fotográficas y las películas fotográficas, las placas PSP se pueden reutilizar.

35 Otro tipo de detectores de rayos X son los intensificadores de imágenes de rayos X. Los componentes de un intensificador de imágenes de rayos X generalmente se sellan al vacío. A diferencia de las placas fotográficas, las películas fotográficas y las placas PSP, los intensificadores de imágenes de rayos X pueden producir imágenes en tiempo real, es decir, no requieren procesamiento posterior a la exposición para producir imágenes. Los rayos X golpean primero un fósforo de entrada (por ejemplo, yoduro de cesio) y se convierte en luz visible. La luz visible luego golpea un fotocátodo (por ejemplo, una capa delgada de metal que contiene compuestos de cesio y antimonio) y provoca la emisión de electrones. El número de electrones emitidos es proporcional a la intensidad del rayo X incidente. Los electrones emitidos se proyectan, a través de la óptica electrónica, sobre un fósforo de salida y hacen que el fósforo de salida produzca una imagen de luz visible.

40 Los centelleadores funcionan de manera similar a los intensificadores de imágenes de rayos X, ya que los centelleadores (por ejemplo, yoduro de sodio) absorben los rayos X y emiten luz visible, que luego puede ser detectada por un sensor de imagen adecuado para la luz visible. En los centelleadores, la luz visible se propaga y se dispersa en todas las direcciones y, por lo tanto, reduce la resolución espacial. La reducción del grosor del centelleador ayuda a mejorar la resolución espacial, pero también reduce la absorción de rayos X. Por lo tanto, un centelleador debe alcanzar un compromiso entre la eficiencia de absorción y la resolución.

50 Los detectores de rayos X semiconductores superan en gran medida este problema mediante la conversión directa de rayos X en señales eléctricas. Un detector de rayos X semiconductor puede incluir una capa semiconductor que absorbe los rayos X en longitudes de onda de interés. Cuando un fotón de rayos X se absorbe en la capa semiconductor, se generan múltiples portadores de carga (por ejemplo, electrones y agujeros) y se barren bajo un campo eléctrico hacia los contactos eléctricos en la capa semiconductor. El engorroso manejo del calor requerido en los detectores de rayos X semiconductores disponibles actualmente (por ejemplo, Medipix) puede hacer que un detector con un área grande y una gran cantidad de píxeles sea difícil o imposible de producir.

60 El documentoWO2008050283 describe una señal del detector transmitida a través de un primer moldeador a un conjunto de comparadores de umbral paralelos, cada uno conectado a un contador y una tensión de disparo transmitida desde el primer comparador a un elemento de retraso de tiempo que espera un tiempo suficiente para recoger suficiente carga de la señal un elemento lógico que compara la señal con un umbral y acciona un elemento de conmutación para cambiar el(los) moldeador(es) a una ruta diferente para permitir el restablecimiento del primer moldeador.

El documento US2011121191 una modalidad en donde un circuito de retraso de tiempo está conectado entre un primer comparador y una compuerta XOR del mismo y un segundo comparador con un umbral de energía más alto. La entrada de un primer contador está bloqueada por un circuito de veto activado por la salida del segundo comparador.

Resumen

En la presente descripción se describe un aparato adecuado para detectar rayos X como se define en la reivindicación 1. El primer comparador de tensión y el segundo comparador de tensión pueden ser el mismo componente. Cuando un comparador de tensión determina si el valor absoluto de una tensión es igual o superior al valor absoluto de un umbral, el comparador de tensión no necesariamente compara los valores absolutos. En cambio, cuando la tensión y el umbral son negativos, el comparador de tensión puede comparar los valores reales de la tensión y el umbral; cuando la tensión es igual o más negativa que el umbral, el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del umbral. Las modalidades adicionales se definen en las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con una modalidad, el controlador se configura para conectar el electrodo a una tierra eléctrica. La tierra eléctrica puede ser una tierra virtual. Una tierra virtual (también conocida como "aterrado virtual") es un nodo de un circuito que se mantiene a un potencial de referencia estable, sin estar conectado directamente al potencial de referencia.

Como un ejemplo que no forma parte de la presente invención, se muestra un sistema que comprende el aparato descrito anteriormente y una fuente de rayos X, en donde el sistema se configura para realizar radiografías de rayos X en el pecho o abdomen humano.

Como un ejemplo que no forma parte de la presente invención, el sistema comprende el aparato descrito anteriormente y una fuente de rayos X, en donde el sistema se configura para realizar radiografías de rayos X en la boca humana.

Se describe en la presente descripción, como un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, un sistema de escaneo de carga o inspección no intrusiva (NII), que comprende el aparato descrito anteriormente y una fuente de rayos X, en donde el escaneo de carga o la inspección no intrusiva (NII) el sistema se configura para formar una imagen utilizando rayos X retrodispersados.

Se describe en la presente descripción, como un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, un sistema de escaneo de carga o inspección no intrusiva (NII), que comprende el aparato descrito anteriormente y una fuente de rayos X, en donde el sistema de escaneo de carga o inspección no intrusiva (NII) se configura para formar una imagen mediante rayos X transmitidos a través de un objeto inspeccionado.

Se describe en la presente descripción, como un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, un sistema de escáner de cuerpo completo que comprende el aparato descrito anteriormente y una fuente de rayos X.

Se describe en la presente descripción, como un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, un sistema de tomografía computarizada de rayos X (CT de rayos X) que comprende el aparato descrito anteriormente y una fuente de rayos X.

Se describe en la presente descripción, como un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, un microscopio electrónico que comprende el aparato descrito anteriormente, una fuente de electrones y un sistema óptico electrónico.

Se describe en la presente descripción, como un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, un sistema que comprende el aparato descrito anteriormente, en donde el sistema es un telescopio de rayos X, o una microscopía de rayos X, o en donde el sistema se configura para realizar una mamografía, detección de defectos industriales, microrradiografía, inspección de fundición, inspección de soldadura o angiografía por sustracción digital.

Se describe en la presente descripción un método como se define en la reivindicación 12. Aspectos adicionales del método se definen en las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, el primer circuito se configura para comparar el valor absoluto de la tensión con el valor absoluto del primer umbral. El primer circuito y el segundo circuito pueden ser el mismo circuito.

Se describe en la presente descripción, como un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, un sistema adecuado para formar imágenes de rayos X de contraste de fase (PCI), el sistema comprende: el aparato

descrito anteriormente, un segundo detector de rayos X, un separador, en donde el aparato y el segundo detector de rayos X están separados por el separador.

5 De acuerdo con un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, el aparato y el segundo detector de rayos X se configuran para capturar respectivamente una imagen de un objeto simultáneamente.

De acuerdo con un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, el segundo detector de rayos X es idéntico al aparato.

10 Se describe en la presente descripción, como un ejemplo que no forma parte de la invención reivindicada, un sistema adecuado para formar imágenes de rayos X de contraste de fase (PCI), el sistema comprende: el aparato descrito anteriormente, en donde el aparato se configura para moverse y capturar imágenes de un objeto expuesto a rayos X incidentes a diferentes distancias del objeto.

15 Breve descripción de las figuras

La Figura 1A muestra esquemáticamente un detector de rayos X semiconductor, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 1B muestra un detector de rayos X semiconductor 100, de acuerdo con una modalidad.

20 La Figura 2 muestra una vista superior ilustrativa de una porción del detector de la Figura 1A, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 3A y la Figura 3B muestran cada una un diagrama de componentes de un sistema electrónico del detector en la Figura 1A de la Figura 1B, de acuerdo con una modalidad.

25 La Figura 4 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través de un electrodo (curva superior) de un diodo o un contacto eléctrico de una resistencia de una capa de absorción de rayos X expuesta a rayos X, la corriente eléctrica causada por portadores de carga generados por un fotón de rayos X incidente en la capa de absorción de rayos X, y un cambio temporal correspondiente de la tensión del electrodo (curva inferior), de acuerdo con una modalidad.

30 La Figura 5 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través del electrodo (curva superior) causada por el ruido (por ejemplo, corriente oscura) y un cambio temporal correspondiente de la tensión del electrodo (curva inferior) en el sistema electrónico que opera de la manera mostrada en la Figura 4, de acuerdo con una modalidad.

35 La Figura 6 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través de un electrodo (curva superior) de la capa de absorción de rayos X expuesta a los rayos X, la corriente eléctrica causada por portadores de carga generados por un fotón de rayos X incidente en la capa de absorción de rayos X y el correspondiente cambio temporal de la tensión del electrodo (curva inferior), cuando el sistema electrónico funciona para detectar fotones de rayos X incidentes a una velocidad mayor, de acuerdo con una modalidad

40 La Figura 7 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través del electrodo (curva superior) causada por el ruido (por ejemplo, corriente oscura) y un cambio temporal correspondiente de la tensión del electrodo (curva inferior) en el sistema electrónico que opera de la manera mostrada en la Figura 6, de acuerdo con una modalidad.

45 La Figura 8 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través del electrodo (curva superior) causada por portadores de carga generados por una serie de fotones de rayos X incidentes en la capa de absorción de rayos X, y un cambio temporal correspondiente de la tensión del electrodo, en el sistema electrónico que funciona de la manera mostrada en la Figura 6 con RST que expira antes de t_e , de acuerdo con una modalidad.

La Figura 9A muestra un diagrama de flujo para un método adecuado para detectar rayos X usando un sistema tal como el sistema electrónico que funciona como se muestra en la Figura 4, de acuerdo con una modalidad.

50 La Figura 9B muestra un diagrama de flujo para un método adecuado para detectar rayos X usando un sistema tal como el sistema electrónico que funciona como se muestra en la Figura 6, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 10 muestra esquemáticamente un sistema adecuado para formar imágenes de rayos X de contraste de fase (PCI), de acuerdo con una modalidad.

La Figura 11 muestra esquemáticamente un sistema adecuado para formar imágenes de rayos X de contraste de fase (PCI), de acuerdo con una modalidad.

55 La Figura 12 muestra esquemáticamente un sistema que comprende el detector de rayos X semiconductor descrito en la presente descripción, adecuado para formar imágenes médicas tales como radiografía de rayos X de tórax, radiografía de rayos X abdominal, etc., de acuerdo con una modalidad.

La Figura 13 muestra esquemáticamente un sistema que comprende el detector de rayos X semiconductor descrito en la presente descripción adecuado para radiografía dental de rayos X, de acuerdo con una modalidad.

60 La Figura 14 muestra esquemáticamente un sistema de exploración de carga o inspección no intrusiva (NII) que comprende el detector de rayos X semiconductor descrito en la presente descripción, de acuerdo con una modalidad.

65 La Figura 15 muestra esquemáticamente otro sistema de escaneo de carga o inspección no intrusiva (NII) que comprende el detector de rayos X semiconductor descrito en la presente descripción, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 16 muestra esquemáticamente un sistema de escáner de cuerpo completo que comprende el detector de rayos X semiconductor descrito en la presente descripción, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 17 muestra esquemáticamente un sistema de tomografía computarizada de rayos X (CT de rayos X) que comprende el detector de rayos X semiconductor descrito en la presente descripción, de acuerdo con una modalidad.

La Figura 18 muestra esquemáticamente un microscopio electrónico que comprende el detector de rayos X semiconductor descrito en la presente descripción, de acuerdo con una modalidad.

10 Descripción Detallada

La Figura 1A muestra esquemáticamente un detector de rayos X semiconductor 100, de acuerdo con una modalidad. El detector de rayos X semiconductor 100 puede incluir una capa de absorción de rayos X 110 y una capa electrónica 120 (por ejemplo, un ASIC) para procesar o analizar señales eléctricas que generan rayos X incidentes en la capa de absorción de rayos X 110. En una modalidad, el detector de rayos X semiconductor 100 no comprende un centelleador. La capa de absorción de rayos X 110 puede incluir un material semiconductor tal como silicio, germanio, GaAs, CdTe, CdZnTe, o una combinación de los mismos. El semiconductor puede tener un alto coeficiente de atenuación de masa para la energía de rayos X de interés. La capa de absorción de rayos X 110 puede incluir uno o más diodos (por ejemplo, p-i-n o p-n) formados por una primera región dopada 111, una o más regiones discretas 114 de una segunda región dopada 113. La segunda región dopada 113 puede estar separada de la primera región dopada 111 por una región intrínseca opcional 112. Las porciones discretas 114 están separadas entre sí por la primera región dopada 111 o la región intrínseca 112. La primera región dopada 111 y la segunda región dopada 113 tienen tipos opuestos de dopaje (por ejemplo, la región 111 es de tipo p y la región 113 es de tipo n, o la región 111 es de tipo n y la región 113 es de tipo p). En el ejemplo de la Figura 1A, cada una de las regiones discretas 114 de la segunda región dopada 113 forma un diodo con la primera región dopada 111 y la región intrínseca opcional 112. Específicamente, en el ejemplo de la Figura 1A, la capa de absorción de rayos X 110 tiene una pluralidad de diodos que tienen la primera región dopada 111 como un electrodo compartido. La primera región dopada 111 también puede tener porciones discretas.

La Figura 1B muestra un detector de rayos X semiconductor 100, de acuerdo con una modalidad. El detector de rayos X semiconductor 100 puede incluir una capa de absorción de rayos X 110 y una capa electrónica 120 (por ejemplo, un ASIC) para procesar o analizar señales eléctricas que generan rayos X incidentes en la capa de absorción de rayos X 110. En una modalidad, el detector de rayos X semiconductor 100 no comprende un centelleador. La capa de absorción de rayos X 110 puede incluir un material semiconductor tal como silicio, germanio, GaAs, CdTe, CdZnTe, o una combinación de los mismos. El semiconductor puede tener un alto coeficiente de atenuación de masa para la energía de rayos X de interés. La capa de absorción de rayos X 110 puede no incluir un diodo sino que incluye una resistencia.

Cuando un fotón de rayos X golpea la capa de absorción de rayos X 110, incluidos los diodos, puede ser absorbido y generar uno o más portadores de carga por varios mecanismos. Un fotón de rayos X puede generar 10 a 100 000 portadores de carga. Los portadores de carga pueden derivar hacia los electrodos de uno de los diodos bajo un campo eléctrico. El campo puede ser un campo eléctrico externo. El contacto eléctrico 119B puede incluir porciones discretas, cada una de las cuales está en contacto eléctrico con las regiones discretas 114. En una modalidad, los portadores de carga pueden derivar en direcciones de manera que los portadores de carga generados por un único fotón de rayos X no se comparten sustancialmente por dos regiones discretas diferentes 114 ("no sustancialmente compartido" aquí significa menos del 5 %, menos de 2 % o menos del 1 % de estos portadores de carga fluyen a una de las regiones discretas 114 diferentes al resto de los portadores de carga). En una modalidad, los portadores de carga generados por un único fotón de rayos X pueden ser compartidos por dos regiones discretas diferentes 114. La Figura 2 muestra una vista superior ilustrativa de una porción del dispositivo 100 con una matriz de 4 por 4 de regiones discretas 114. Los portadores de carga generados por un fotón de rayos X incidente dentro de la huella de una de estas regiones discretas 114 no se comparten sustancialmente con otra de estas regiones discretas 114. Específicamente, menos del 5 %, menos del 2 % o menos del 1 % de estos portadores de carga fluyen más allá de la huella de la única región discreta. Al medir la corriente de deriva que fluye hacia cada una de las regiones discretas 114, o la tasa de cambio de la tensión de cada una de las regiones discretas 114, el número de fotones de rayos X absorbidos (que se relaciona con la intensidad de rayos X incidente) y/o sus energías dentro de las huellas de las regiones discretas 114 pueden determinarse. Por lo tanto, la distribución espacial (por ejemplo, una imagen) de la intensidad de los rayos X incidentes puede determinarse midiendo individualmente la corriente de deriva en cada una de una matriz de regiones discretas 114 o midiendo la tasa de cambio de la tensión de cada una de la matriz de regiones discretas 114. La huella de cada una de las regiones discretas 114 puede llamarse un píxel. Los píxeles se pueden organizar en cualquier matriz adecuada, tal como una matriz cuadrada, una matriz triangular y una matriz de panal. Los píxeles pueden tener cualquier forma adecuada, como circular, triangular, cuadrada, rectangular y hexagonal. Los píxeles pueden ser direccionables individualmente.

Cuando un fotón de rayos X golpea la capa de absorción de rayos X 110 que incluye una resistencia pero no diodos, puede ser absorbido y generar uno o más portadores de carga por varios mecanismos. Un fotón de rayos X puede generar 10 a 100 000 portadores de carga. Los portadores de carga pueden derivar a los contactos eléctricos 119A

y 119B debajo de un campo eléctrico. El campo puede ser un campo eléctrico externo. El contacto eléctrico 119B incluye porciones discretas. En una modalidad, los portadores de carga pueden derivar en direcciones de manera que los portadores de carga generados por un único fotón de rayos X no se comparten sustancialmente por dos porciones discretas diferentes del contacto eléctrico 119B ("no sustancialmente compartido" aquí significa menos del 5 %, menos del 2 % o menos del 1 % de estos portadores de carga fluyen a una de las porciones discretas diferentes que el resto de los portadores de carga). En una modalidad, los portadores de carga generados por un único fotón de rayos X pueden ser compartidos por dos porciones discretas diferentes del contacto eléctrico 119B. Los portadores de carga generados por un fotón de rayos X incidente dentro de la huella de una de estas porciones discretas del contacto eléctrico 119B no se comparten sustancialmente con otra de estas porciones discretas del contacto eléctrico 119B. Específicamente, menos del 5 %, menos del 2 % o menos del 1 % de estos portadores de carga fluyen más allá de la huella de la porción discreta del contacto eléctrico 119B. Al medir la corriente de deriva que fluye en cada una de las porciones discretas del contacto eléctrico 119B, o la tasa de cambio de la tensión de cada una de las porciones discretas del contacto eléctrico 119B, el número de fotones de rayos X absorbidos (que se relaciona con la intensidad de rayos X incidente) y/o sus energías dentro de las huellas de las porciones discretas del contacto eléctrico 119B pueden determinarse. Por lo tanto, la distribución espacial (por ejemplo, una imagen) de la intensidad de los rayos X incidentes puede determinarse midiendo individualmente la corriente de deriva en cada una de una matriz de porciones discretas del contacto eléctrico 119B o midiendo la tasa de cambio de la tensión de cada una de una matriz de porciones discretas del contacto eléctrico 119B. La huella de cada una de las porciones discretas del contacto eléctrico 119B puede llamarse un píxel. Los píxeles se pueden organizar en cualquier matriz adecuada, tal como una matriz cuadrada, una matriz triangular y una matriz de panel. Los píxeles pueden tener cualquier forma adecuada, como circular, triangular, cuadrada, rectangular y hexangular. Los píxeles pueden ser direccionables individualmente.

La capa electrónica 120 puede incluir un sistema electrónico 121 adecuado para procesar o interpretar señales generadas por fotones de rayos X incidentes en la capa de absorción de rayos X 110. El sistema electrónico 121 puede incluir circuitos analógicos tal como una red de filtros, amplificadores, integradores y comparadores, o circuitos digitales tal como un microprocesador y memoria. El sistema electrónico 121 puede incluir componentes compartidos por los píxeles o componentes dedicados a un solo píxel. Por ejemplo, el sistema electrónico 121 puede incluir un amplificador dedicado a cada píxel y un microprocesador compartido entre todos los píxeles. El sistema electrónico 121 puede estar conectado eléctricamente a los píxeles por medio de la vía 131. El espacio entre las vías puede llenarse con un material de relleno 130, que puede aumentar la estabilidad mecánica de la conexión de la capa electrónica 120 a la capa de absorción de rayos X 110. Son posibles otras técnicas de unión para conectar el sistema electrónico 121 a los píxeles sin utilizar vías.

La Figura 3A y la Figura 3B muestran cada una un diagrama de componentes del sistema electrónico 121, de acuerdo con una modalidad. El sistema electrónico 121 puede incluir un primer comparador de tensión 301, un segundo comparador de tensión 302, un contador 320, un interruptor 305, un voltímetro 306 y un controlador 310.

El primer comparador de tensión 301 se configura para comparar la tensión de un electrodo de un diodo 300 con un primer umbral. El diodo puede ser un diodo formado por la primera región dopada 111, una de las regiones discretas 114 de la segunda región dopada 113, y la región intrínseca opcional 112. Alternativamente, el primer comparador de tensión 301 se configura para comparar la tensión de un contacto eléctrico (por ejemplo, una porción discreta del contacto eléctrico 119B) con un primer umbral. El primer comparador de tensión 301 puede configurarse para controlar la tensión directamente, o calcular la tensión integrando una corriente eléctrica que fluye a través del diodo o contacto eléctrico durante un período de tiempo. El primer comparador de tensión 301 puede ser activado o desactivado de forma controlable por el controlador 310. El primer comparador de tensión 301 puede ser un comparador continuo. Específicamente, el primer comparador de tensión 301 puede configurarse para activarse continuamente, y monitorear la tensión continuamente. El primer comparador de tensión 301 configurado como un comparador continuo reduce la posibilidad de que el sistema 121 pierda las señales generadas por un fotón de rayos X incidente. El primer comparador de tensión 301 configurado como un comparador continuo es especialmente adecuado cuando la intensidad de rayos X incidente es relativamente alta. El primer comparador de tensión 301 puede ser un comparador con reloj, que tiene el beneficio de un menor consumo de energía. El primer comparador de tensión 301 configurado como un comparador con reloj puede hacer que el sistema 121 pierda las señales generadas por algunos fotones de rayos X incidentes. Cuando la intensidad de rayos X incidente es baja, la posibilidad de perder un fotón de rayos X incidente es baja porque el intervalo de tiempo entre dos fotones sucesivos es relativamente largo. Por lo tanto, el primer comparador de tensión 301 configurado como un comparador con reloj es especialmente adecuado cuando la intensidad de rayos X incidente es relativamente baja. El primer umbral puede ser 5-10 %, 10 % -20 %, 20-30 %, 30-40 % o 40-50 % de la tensión máximo que un fotón de rayos X incidente puede generar en el diodo o la resistencia. La tensión máxima puede depender de la energía del fotón de rayos X incidentes (es decir, la longitud de onda de los rayos X incidentes), el material de la capa de absorción de rayos X 110 y otros factores. Por ejemplo, el primer umbral puede ser 50 mV, 100 mV, 150 mV o 200 mV.

El segundo comparador de tensión 302 se configura para comparar la tensión con un segundo umbral. El segundo comparador de tensión 302 puede configurarse para controlar la tensión directamente, o calcular la tensión integrando una corriente eléctrica que fluye a través del diodo o el contacto eléctrico durante un período de tiempo. El segundo comparador de tensión 302 puede ser un comparador continuo. El segundo comparador de tensión 302

puede ser activado o desactivado de forma controlable por el controlador 310. Cuando el segundo comparador de tensión 302 está desactivado, el consumo de energía del segundo comparador de tensión 302 puede ser inferior al 1 %, inferior al 5 %, inferior al 10 % o inferior al 20 % del consumo de energía cuando el segundo comparador de tensión 302 es activado. El valor absoluto del segundo umbral es mayor que el valor absoluto del primer umbral. Como se usa en la presente, el término "valor absoluto" o "módulo" $|x|$ de un número real x es el valor no negativo de x sin tener en cuenta su signo. Específicamente,

$$|x| = \begin{cases} x, & \text{si } x \geq 0 \\ -x, & \text{si } x \leq 0 \end{cases}$$

El segundo umbral puede ser 200 % -300 % del primer umbral. El segundo umbral puede ser al menos el 50 % de la tensión máximo que un fotón de rayos X incidente puede generar en el diodo o la resistencia. Por ejemplo, el segundo umbral puede ser 100 mV, 150 mV, 200 mV, 250 mV o 300 mV. El segundo comparador de tensión 302 y el primer comparador de tensión 310 pueden ser el mismo componente. Específicamente, el sistema 121 puede tener un comparador de tensión que puede comparar una tensión con dos umbrales diferentes en momentos diferentes.

El primer comparador de tensión 301 o el segundo comparador de tensión 302 pueden incluir uno o más amplificadores operacionales o cualquier otro circuito adecuado. El primer comparador de tensión 301 o el segundo comparador de tensión 302 pueden tener una alta velocidad para permitir que el sistema 121 funcione bajo un alto flujo de rayos X incidentes. Sin embargo, tener una alta velocidad a menudo es a costa del consumo de energía.

El contador 320 se configura para registrar una cantidad de fotones de rayos X que alcanzan el diodo o la resistencia. El contador 320 puede ser un componente de software (por ejemplo, un número almacenado en la memoria de un ordenador) o un componente de hardware (por ejemplo, un 4017 IC y un 7490 IC).

El controlador 310 puede ser un componente de hardware tal como un microcontrolador y un microprocesador. El controlador 310 se configura para iniciar un retraso de tiempo desde el momento en que el primer comparador de tensión 301 determina que el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del primer umbral (por ejemplo, el valor absoluto de la tensión aumenta desde abajo el valor absoluto del primer umbral a un valor igual o superior al valor absoluto del primer umbral). El valor absoluto se usa aquí porque la tensión puede ser negativa o positiva, en dependencia de si la tensión del cátodo o el ánodo del diodo o qué contacto eléctrico se usa. El controlador 310 puede configurarse para mantener desactivado el segundo comparador de tensión 302, el contador 320 y cualquier otro circuito que no requiera la operación del primer comparador de tensión 301, antes del momento en que el primer comparador de tensión 301 determina que el valor absoluto de la tensión iguala o excede el valor absoluto del primer umbral. La demora de tiempo puede expirar antes o después de que la tensión se estabilice, es decir, la tasa de cambio de la tensión es sustancialmente cero. La fase "la tasa de cambio de la tensión es sustancialmente cero" significa que el cambio temporal de la tensión es menor que 0,1 %/ns. La fase "la tasa de cambio de la tensión es sustancialmente distinta de cero" significa que el cambio temporal de la tensión es de al menos 0,1 %/ns.

El controlador 310 puede configurarse para activar el segundo comparador de tensión durante (incluyendo el comienzo y la expiración) el retraso de tiempo. En una modalidad, el controlador 310 se configura para activar el segundo comparador de tensión al comienzo del retraso de tiempo. El término "activar" significa hacer que el componente entre en un estado operativo (por ejemplo, enviando una señal como un pulso de tensión o un nivel lógico, proporcionando energía, etc.). El término "desactivar" significa hacer que el componente entre en un estado no operativo (por ejemplo, enviando una señal como un pulso de tensión o un nivel lógico, cortando la alimentación, etc.). El estado operativo puede tener un mayor consumo de energía (por ejemplo, 10 veces mayor, 100 veces mayor, 1000 veces mayor) que el estado no operativo. El controlador 310 en sí mismo puede desactivarse hasta que la salida del primer comparador de tensión 301 active el controlador 310 cuando el valor absoluto de la tensión sea igual o superior al valor absoluto del primer umbral.

El controlador 310 puede configurarse para hacer que el número registrado por el contador 320 aumente en uno, si, durante el retraso de tiempo, el segundo comparador de tensión 302 determina que el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral.

El controlador 310 puede configurarse para hacer que el voltímetro 306 mida la tensión al expirar el retraso de tiempo. El controlador 310 puede estar configurado para conectar el electrodo a una conexión a tierra eléctrica, para restablecer la tensión y descargar una batería de carga acumulada en el electrodo. En una modalidad, el electrodo está conectado a una tierra eléctrica después de la expiración del retraso de tiempo. En una modalidad, el electrodo está conectado a una tierra eléctrica durante un período de tiempo de reinicio finito. El controlador 310 puede conectar el electrodo a la tierra eléctrica controlando el interruptor 305. El interruptor puede ser un transistor, como un transistor de efecto de campo (FET).

En una modalidad, el sistema 121 no tiene una red de filtro analógico (por ejemplo, una red RC). En una modalidad, el sistema 121 no tiene circuitos analógicos.

El voltímetro 306 puede alimentar la tensión que mide al controlador 310 como una señal analógica o digital.

5 El sistema 121 puede incluir un módulo de condensador 309 conectado eléctricamente al electrodo del diodo 300 o al contacto eléctrico, en donde el módulo de condensador se configura para recoger portadores de carga del electrodo. El módulo de condensador puede incluir un condensador en la ruta de retroalimentación de un amplificador. El amplificador configurado como tal se llama amplificador capacitivo de transimpedancia (CTIA). CTIA
10 tiene un alto rango dinámico al evitar que el amplificador se sature y mejora la relación señal/ruido al limitar el ancho de banda en la ruta de la señal. Los portadores de carga del electrodo se acumulan en el condensador durante un período de tiempo ("período de integración") (por ejemplo, como se muestra en la Figura 4, entre t_0 a t_{10} t_1 - t_2). Después de que el período de integración ha expirado, la tensión del condensador se muestrea y luego se restablece mediante un interruptor de reinicio. El módulo de condensador puede incluir un condensador conectado
15 directamente al electrodo.

La Figura 4 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través del electrodo (curva superior) causada por portadores de carga generados por un fotón de rayos X incidente en el diodo o la resistencia, y un cambio temporal correspondiente de la tensión del electrodo (curva inferior). La tensión puede ser una integral de la corriente eléctrica con respecto al tiempo. En el tiempo t_0 , el fotón de rayos X golpea el diodo o la resistencia, los portadores de carga comienzan a generarse en el diodo o la resistencia, la corriente eléctrica comienza a fluir a través del electrodo del diodo o la resistencia, y el valor absoluto de la tensión del electrodo o el contacto eléctrico comienza a aumentar. En el tiempo t_1 , el primer comparador de tensión 301 determina que el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del primer umbral V_1 , y el controlador 310 inicia el retraso de tiempo TD1 y el controlador 310 puede desactivar el primer comparador de tensión 301 al comienzo de TD1. Si el controlador 310 está desactivado antes de t_1 , el controlador 310 se activa en t_1 . Durante TD1, el controlador 310 activa el segundo comparador de tensión 302. El término "durante" un retraso de tiempo, como se usa aquí, significa el comienzo y la expiración (es decir, el final) y cualquier momento intermedio. Por ejemplo, el controlador 310 puede activar el segundo comparador de tensión 302 a la expiración de TD1. Si durante TD1, el segundo comparador de tensión 302 determina que el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral en el tiempo t_2 , el controlador 310 hace que el número registrado por el contador 320 aumente en uno. En el tiempo t_{mi} , todos los portadores de carga generados por el fotón de rayos X se desplazan fuera de la capa de absorción de rayos X 110. En el tiempo t_s , el tiempo de retraso TD1 expira. En el ejemplo de la Figura 4, el tiempo t_s es después del tiempo t_{mi} ; específicamente, TD1 expira después de que todos los portadores de carga generados por el fotón de rayos X se desplacen fuera de la capa de absorción de rayos X 110. La tasa de cambio de la tensión es, por lo tanto, sustancialmente cero en t_s . El controlador 310 puede estar configurado para desactivar el segundo comparador de tensión 302 al expirar TD1 o en t_2 , o en cualquier momento intermedio.

El controlador 310 puede configurarse para hacer que el voltímetro 306 mida la tensión al expirar el tiempo de retraso TD1. En una modalidad, el controlador 310 hace que el voltímetro 306 mida la tensión después de que la tasa de cambio de la tensión se vuelve sustancialmente cero después de la expiración del retraso de tiempo TD1. La tensión en este momento es proporcional a la cantidad de portadores de carga generados por un fotón de rayos X, que se relaciona con la energía del fotón de rayos X. El controlador 310 puede configurarse para determinar la energía del fotón de rayos X basándose en la tensión que mide el voltímetro 306. Una forma de determinar la energía es agrupando la tensión. El contador 320 puede tener un subcontador para cada contenedor. Cuando el controlador 310 determina que la energía del fotón de rayos X cae en un contenedor, el controlador 310 puede hacer que el número registrado en el subcontador de ese contenedor aumente en uno. Por lo tanto, el sistema 121 puede detectar una imagen de rayos X y puede resolver las energías de fotones de rayos X de cada fotón de rayos X.

Después de que TD1 expira, el controlador 310 conecta el electrodo a una tierra eléctrica durante un período de restablecimiento RST para permitir que los portadores de carga acumulados en el electrodo fluyan a la tierra y restablezcan la tensión. Después de RST, el sistema 121 está listo para detectar otro fotón de rayos X incidente. Implícitamente, la tasa de fotones de rayos X incidentes que el sistema 121 puede manejar en el ejemplo de la Figura 4 está limitada por $1/(TD1 + RST)$. Si el primer comparador de tensión 301 se ha desactivado, el controlador 310 puede activarlo en cualquier momento antes de que expire el RST. Si el controlador 310 se ha desactivado, puede activarse antes de que expire el RST.

La Figura 5 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través del electrodo (curva superior) causada por el ruido (por ejemplo, corriente oscura, radiación de fondo, rayos X dispersos, rayos X fluorescentes, cargas compartidas de píxeles adyacentes) y un cambio temporal correspondiente de la tensión del electrodo (curva inferior), en el sistema 121 que funciona de la manera mostrada en la Figura 4. En el tiempo t_0 , comienza el ruido. Si el ruido no es lo suficientemente grande como para causar que el valor absoluto de la tensión exceda el valor absoluto de V_1 , el controlador 310 no activa el segundo comparador de tensión 302. Si el ruido es lo suficientemente grande como para causar que el valor absoluto de la tensión exceda el valor absoluto de V_1 en el tiempo t_1 según lo determinado por el primer comparador de tensión 301, el controlador 310 inicia el retraso de tiempo TD1 y el controlador 310 puede desactivar el primer comparador de tensión 301 al comienzo de TD1.

5 Durante TD1 (por ejemplo, a la expiración de TD1), el controlador 310 activa el segundo comparador de tensión 302. Es muy poco probable que el ruido sea lo suficientemente grande como para causar que el valor absoluto de la tensión exceda el valor absoluto de V2 durante TD1. Por lo tanto, el controlador 310 no hace que aumente el número registrado por el contador 320. En el tiempo t_{mi} , el ruido termina. En el tiempo t_s , el tiempo de retraso TD1 expira. El controlador 310 puede configurarse para desactivar el segundo comparador de tensión 302 a la expiración de TD1. El controlador 310 puede estar configurado para no hacer que el voltímetro 306 mida la tensión si el valor absoluto de la tensión no excede el valor absoluto de V2 durante TD1. Una vez que TD1 expira, el controlador 310 conecta el electrodo a una tierra eléctrica durante un período de reinicio RST para permitir que los portadores de carga acumulados en el electrodo como resultado del ruido fluyan a la tierra y restablezcan la tensión. Por lo tanto, el sistema 121 puede ser muy efectivo en el rechazo de ruido.

15 La Figura 6 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través del electrodo (curva superior) causada por portadores de carga generados por un fotón de rayos X que incide en el diodo o la resistencia, y un cambio temporal correspondiente de la tensión del electrodo (curva inferior), cuando el sistema 121 opera para detectar fotones de rayos X incidentes a una velocidad superior a $1/(TD1+RST)$. La tensión puede ser una integral de la corriente eléctrica con respecto al tiempo. En el tiempo t_0 , el fotón de rayos X golpea el diodo o la resistencia, los portadores de carga comienzan a generarse en el diodo o la resistencia, la corriente eléctrica comienza a fluir a través del electrodo del diodo o el contacto eléctrico de la resistencia, y el valor absoluto de la tensión del electrodo o el contacto eléctrico comienza a aumentar. En el tiempo t_1 , el primer comparador de tensión 301 determina que el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del primer umbral V1, y el controlador 310 inicia un retraso de tiempo TD2 más corto que TD1, y el controlador 310 puede desactivar el primer comparador de tensión 301 al comienzo de TD2. Si el controlador 310 está desactivado antes de t_1 , el controlador 310 se activa en t_1 . Durante TD2 (por ejemplo, a la expiración de TD2), el controlador 310 activa el segundo comparador de tensión 302. Si durante TD2, el segundo comparador de tensión 302 determina que el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral en el tiempo t_2 , el controlador 310 hace que el número registrado por el contador 320 aumente en uno. En el tiempo t_{mi} , todos los portadores de carga generados por el fotón de rayos X se desplazan fuera de la capa de absorción de rayos X 110. En el tiempo t_h , el tiempo de retraso TD2 expira. En el ejemplo de la Figura 6, el tiempo t_h es antes del tiempo t_{mi} ; específicamente, TD2 expira antes de que todos los portadores de carga generados por el fotón de rayos X salgan de la capa de absorción de rayos X 110. La tasa de cambio de la tensión es, por lo tanto, sustancialmente diferente de cero en t_h . El controlador 310 puede configurarse para desactivar el segundo comparador de tensión 302 al expirar TD2 o en t_2 , o en cualquier momento intermedio.

35 El controlador 310 puede configurarse para extrapolar la tensión en t_{mi} desde la tensión en función del tiempo durante TD2 y use la tensión extrapolado para determinar la energía del fotón de rayos X.

40 Después de que TD2 expira, el controlador 310 conecta el electrodo a una tierra eléctrica durante un período de restablecimiento RST para permitir que los portadores de carga acumulados en el electrodo fluyan a la tierra y restablezcan la tensión. En una modalidad, RST expira antes de t_{mi} . La tasa de cambio de la tensión después de RST puede ser sustancialmente distinta de cero porque todos los portadores de carga generados por el fotón de rayos X no se han desplazado fuera de la capa de absorción de rayos X 110 al expirar RST antes de t_{mi} . La tasa de cambio de la tensión se vuelve sustancialmente cero después de t_{mi} y la tensión se estabilizó a una tensión residual VR después de t_{mi} . En una modalidad, RST expira en o después de t_{mi} , y la tasa de cambio de la tensión después de RST puede ser sustancialmente cero porque todos los portadores de carga generados por el fotón de rayos X se desplazan fuera de la capa de absorción de rayos X 110 en t_{mi} . Después de RST, el sistema 121 está listo para detectar otro fotón de rayos X incidente. Si el primer comparador de tensión 301 se ha desactivado, el controlador 310 puede activarlo en cualquier momento antes de que expire el RST. Si el controlador 310 se ha desactivado, puede activarse antes de que expire el RST.

50 La Figura 7 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través del electrodo (curva superior) causada por el ruido (por ejemplo, corriente oscura, radiación de fondo, rayos X dispersos, rayos X fluorescentes, cargas compartidas de píxeles adyacentes) y un cambio temporal correspondiente de la tensión del electrodo (curva inferior), en el sistema 121 que funciona de la manera mostrada en la Figura 6. En el tiempo t_0 , comienza el ruido. Si el ruido no es lo suficientemente grande como para causar que el valor absoluto de la tensión exceda el valor absoluto de V1, el controlador 310 no activa el segundo comparador de tensión 302. Si el ruido es lo suficientemente grande como para causar que el valor absoluto de la tensión exceda el valor absoluto de V1 en el tiempo t_1 según lo determinado por el primer comparador de tensión 301, el controlador 310 inicia el retraso de tiempo TD2 y el controlador 310 puede desactivar el primer comparador de tensión 301 al comienzo de TD2. Durante TD2 (por ejemplo, a la expiración de TD2), el controlador 310 activa el segundo comparador de tensión 302. Es muy poco probable que el ruido sea lo suficientemente grande como para causar que el valor absoluto de la tensión exceda el valor absoluto de V2 durante TD2. Por lo tanto, el controlador 310 no hace que aumente el número registrado por el contador 320. En el tiempo t_{mi} , el ruido termina. En el tiempo t_h , el tiempo de retraso TD2 expira. El controlador 310 puede configurarse para desactivar el segundo comparador de tensión 302 a la expiración de TD2. Una vez que TD2 expira, el controlador 310 conecta el electrodo a una tierra eléctrica durante un período de reinicio RST para permitir que los portadores de carga acumulados en el electrodo como resultado del ruido fluyan a la tierra y restablezcan la tensión. Por lo tanto, el sistema 121 puede ser muy efectivo en el rechazo de ruido.

La Figura 8 muestra esquemáticamente un cambio temporal de la corriente eléctrica que fluye a través del electrodo (curva superior) causada por portadores de carga generados por una serie de fotones de rayos X incidentes en el diodo o la resistencia, y un cambio temporal correspondiente de la tensión del electrodo (curva inferior), en el sistema 121 que funciona de la manera mostrada en la Figura 6 con RST expira antes de t_e . La curva de tensión causada por los portadores de carga generados por cada fotón de rayos X incidente se compensa con la tensión residual antes de ese fotón. El valor absoluto de la tensión residual aumenta sucesivamente con cada fotón incidente. Cuando el valor absoluto de la tensión residual excede V_1 (vea el rectángulo punteado en la Figura 8), el controlador inicia el retraso de tiempo TD2 y el controlador 310 puede desactivar el primer comparador de tensión 301 al comienzo de TD2. Si no hay otra incidencia de fotones de rayos X en el diodo o la resistencia durante TD2, el controlador conecta el electrodo a la tierra eléctrica durante el período de tiempo de restablecimiento RST al final de TD2, restableciendo así la tensión residual. Por lo tanto, la tensión residual no causa un aumento del número registrado por el contador 320.

La Figura 9A muestra un diagrama de flujo para un método adecuado para detectar rayos X usando un sistema tal como el sistema 121 que funciona como se muestra en la Figura 4. En la etapa 901, comparar, por ejemplo, usando el primer comparador de tensión 301, una tensión de un electrodo de diodo o un contacto eléctrico de una resistencia expuesta a rayos X, con el primer umbral. En la etapa 902, determinar, por ejemplo, con el controlador 310, si el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del primer umbral V_1 . Si el valor absoluto de la tensión no es igual o excede el valor absoluto del primer umbral, el método vuelve a la etapa 901. Si el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del primer umbral, continuar con la etapa 903. En la etapa 903, comenzar, por ejemplo, usando el controlador 310, el retraso de tiempo TD1. En la etapa 904, activar, por ejemplo, usando el controlador 310, un circuito (por ejemplo, el segundo comparador de tensión 302 o el contador 320) durante el tiempo de retraso TD1 (por ejemplo, a la expiración de TD1). En la etapa 905, comparar, por ejemplo, usando el segundo comparador de tensión 302, la tensión con el segundo umbral. En la etapa 906, determinar, por ejemplo, usando el controlador 310, si el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral V_2 . Si el valor absoluto de la tensión no es igual o excede el valor absoluto del segundo umbral, el método va a la etapa 910. Si el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral, continuar con la etapa 907. En la etapa 907, hacer que, por ejemplo, usando el controlador 310, el número registrado en el contador 320 aumente en uno. En la etapa opcional 908, medir, por ejemplo, usando el voltímetro 306, la tensión al expirar el tiempo de retraso TD1. En la etapa opcional 909, determinar, por ejemplo, usando el controlador 310, la energía del fotón de rayos X basada en la tensión medido en la etapa 908. Puede haber un contador para cada uno de los contenedores de energía. Después de medir la energía del fotón de rayos X, el contador del contenedor al que pertenece la energía del fotón se puede aumentar en uno. El método va a la etapa 910 después de la etapa 909. En la etapa 910, restablecer la tensión a una tierra eléctrica, por ejemplo, conectando el electrodo del diodo o un contacto eléctrico de una resistencia a una tierra eléctrica. Las etapas 908 y 909 pueden omitirse, por ejemplo, cuando los píxeles vecinos comparten una gran porción (por ejemplo, >30 %) de portadores de carga generados a partir de un solo fotón.

La Figura 9B muestra un diagrama de flujo para un método adecuado para detectar rayos X utilizando el sistema, tal como el sistema 121 que funciona como se muestra en la Figura 6. En la etapa 1001, comparar, por ejemplo, usando el primer comparador de tensión 301, una tensión de un electrodo de diodo o un contacto eléctrico de una resistencia expuesta a rayos X, con el primer umbral. En la etapa 1002, determinar, por ejemplo, con el controlador 310, si el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del primer umbral V_1 . Si el valor absoluto de la tensión no es igual o excede el valor absoluto del primer umbral, el método vuelve a la etapa 1001. Si el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del primer umbral, continuar con la etapa 1003. En la etapa 1003, comenzar, por ejemplo, usando el controlador 310, el retraso de tiempo TD2. En la etapa 1004, activar, por ejemplo, usando el controlador 310, un circuito (por ejemplo, el segundo comparador de tensión 302 o el contador 320) durante el tiempo de retraso TD2 (por ejemplo, a la expiración de TD2). En la etapa 1005, comparar, por ejemplo, usando el segundo comparador de tensión 302, la tensión con el segundo umbral. En la etapa 1006, determinar, por ejemplo, usando el controlador 310, si el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral V_2 . Si el valor absoluto de la tensión no es igual o excede el valor absoluto del segundo umbral, el método va a la etapa 1010. Si el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral, continuar con la etapa 1007. En la etapa 1007, hacer que, por ejemplo, usando el controlador 310, el número registrado en el contador 320 aumente en uno. El método va a la etapa 1010 después de la etapa 1007. En la etapa 1010, restablecer la tensión a una tierra eléctrica, por ejemplo, conectando el electrodo del diodo o un contacto eléctrico de una resistencia a una tierra eléctrica.

El detector de rayos X semiconductor 100 puede usarse para formar imágenes de rayos X de contraste de fase (PCI) (también conocido como formación de imágenes de rayos X sensibles a la fase). PCI abarca técnicas que forman una imagen de un objeto al menos parcialmente usando el cambio de fase (incluida la distribución espacial del cambio de fase) de un haz de rayos X causado por ese objeto. Una forma de obtener el cambio de fase es transformar la fase en variaciones de intensidad.

PCI puede combinarse con técnicas tomográficas para obtener la distribución en 3D de la parte real del índice de refracción del objeto. PCI es más sensible a las variaciones de densidad en el objeto que las imágenes

convencionales de rayos X basadas en la intensidad (por ejemplo, radiografía). PCI es especialmente útil para obtener imágenes de tejidos blandos.

5 De acuerdo con una modalidad, la Figura 10 muestra esquemáticamente un sistema 1900 adecuado para PCI. El sistema 1900 puede incluir al menos dos detectores de rayos X 1910 y 1920. Uno o ambos de los dos detectores de rayos X 1910 es el detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción. Los detectores de rayos X 1910 y 1920 pueden estar separados por un separador 1930. El separador 1930 puede tener muy poca absorción de la radiografía. Por ejemplo, el separador 1930 puede tener un coeficiente de atenuación de masa muy pequeño (por ejemplo, $<10 \text{ cm}^2\text{sol}^{-1}$ $<1 \text{ cm}^2\text{sol}^{-1}$ $<0,1 \text{ cm}^2\text{sol}^{-1}$ o $<0,01 \text{ cm}^2\text{sol}^{-1}$) El coeficiente de atenuación de masa del separador 1930 puede ser uniforme (por ejemplo, la variación entre cada dos puntos en el separador 1930 es inferior al 5 %, inferior al 1 % o inferior al 0,1 %). El separador 1930 puede causar la misma cantidad de cambios en la fase de rayos X que pasa a través del separador 1930. Por ejemplo, el separador 1930 puede ser un gas (por ejemplo, aire), una cámara de vacío, puede comprender aluminio, berilio, silicio o una combinación de los mismos.

15 El sistema 1900 se puede utilizar para obtener el desplazamiento de fase de la radiografía incidente 1950 causada por la imagen de un objeto 1960. Los detectores de rayos X 1910 y 1920 pueden capturar dos imágenes (es decir, distribuciones de intensidad) simultáneamente. Debido a que los detectores de rayos X 1910 y 1920 están separados por el separador 1930, las dos imágenes están a diferentes distancias del objeto 1960. La fase puede determinarse a partir de las dos imágenes, por ejemplo, utilizando algoritmos basados en la linealización de la integral de difracción de Fresnel.

20 De acuerdo con una modalidad, la Figura 11 muestra esquemáticamente un sistema 1800 adecuado para PCI. El sistema 1800 comprende el detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción. El detector de rayos X semiconductor 100 se configura para moverse y capturar imágenes de un objeto 1860 expuesto a rayos X incidentes 1850 a diferentes distancias del objeto 1860. Las imágenes pueden no necesariamente ser capturadas simultáneamente. La fase se puede determinar a partir de las imágenes, por ejemplo, utilizando algoritmos basados en la linealización de la integral de difracción de Fresnel.

25 La Figura 12 muestra esquemáticamente un sistema que comprende el detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción. El sistema puede usarse para imágenes médicas, como radiografías de rayos X de tórax, radiografías de rayos X abdominales, etc. El sistema comprende una fuente de rayos X 1201. Los rayos X emitidos por la fuente de rayos X 1201 penetran un objeto 1202 (por ejemplo, una parte del cuerpo humano tal como el pecho, las extremidades, el abdomen), son atenuados en diferentes grados por las estructuras internas del objeto 1202 (por ejemplo, huesos, músculos, grasa y órganos, etc.), y se proyectan al detector de rayos X semiconductor 100. El detector de rayos X semiconductor 100 forma una imagen al detectar la distribución de intensidad de los rayos X.

30 La Figura 13 muestra esquemáticamente un sistema que comprende el detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción. El sistema puede usarse para imágenes médicas, como radiografías de rayos X dentales. El sistema comprende una fuente de rayos X 1301. Los rayos X emitidos por la fuente de rayos X 1301 penetran en un objeto 1302 que es parte de la boca de un mamífero (por ejemplo, humano). El objeto 1302 puede incluir un hueso maxilar, un hueso del paladar, un diente, la mandíbula o la lengua. La radiografía se atenúa en diferentes grados por las diferentes estructuras del objeto 1302 y se proyecta al detector de rayos X semiconductor 100. El detector de rayos X semiconductor 100 forma una imagen al detectar la distribución de intensidad de los rayos X. Los dientes absorben los rayos X más que la caries dental, las infecciones, el ligamento periodontal. La dosis de radiación de rayos X recibida por un paciente dental es típicamente pequeña (alrededor de 0,150 mSv para una serie de boca completa).

35 La Figura 14 muestra esquemáticamente un sistema de exploración de carga o inspección no intrusiva (NII) que comprende el detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción. El sistema se puede usar para inspeccionar e identificar bienes en sistemas de transporte como contenedores de envío, vehículos, barcos, equipaje, etc. El sistema comprende una fuente de rayos X 1401. Los rayos X emitidos desde la fuente de rayos X 1401 pueden retrodispersarse desde un objeto 1402 (por ejemplo, contenedores de envío, vehículos, barcos, etc.) y proyectarse al detector de rayos X semiconductor 100. Las diferentes estructuras internas del objeto 1402 pueden retrodispersar los rayos X de manera diferente. El detector 100 de rayos X semiconductores forma una imagen al detectar la distribución de intensidad de los rayos X retrodispersados y/o las energías de los fotones de rayos X retrodispersados.

40 La Figura 15 muestra esquemáticamente otro sistema de exploración de carga o inspección no intrusiva (NII) que comprende el detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción. El sistema se puede utilizar para el control de equipaje en estaciones de transporte público y aeropuertos. El sistema comprende una fuente de rayos X 1501. Los rayos X emitidos desde la fuente de rayos X 1501 pueden penetrar en una pieza de equipaje 1502, ser atenuados de manera diferente por el contenido del equipaje y proyectarse al detector de rayos X semiconductor 100. El detector de rayos X semiconductor 100 forma una imagen al detectar la distribución de intensidad de los rayos X transmitidos. El sistema puede revelar el contenido del equipaje e identificar artículos prohibidos en el transporte público, como armas de fuego, narcóticos, armas con filo, inflamable.

La Figura 16 muestra esquemáticamente un sistema de escáner de cuerpo completo que comprende el detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción. El sistema de escáner de cuerpo completo puede detectar objetos en el cuerpo de una persona para fines de inspección de seguridad, sin quitarse la ropa físicamente ni hacer contacto físico. El sistema de escáner de cuerpo completo puede detectar objetos no metálicos. El sistema de escáner de cuerpo completo comprende una fuente de rayos X 1601. Los rayos X emitidos desde la fuente de rayos X 1601 pueden retrodispersarse a partir de un ser humano 1602 que se está cribando y de objetos sobre el mismo, y proyectarse al detector de rayos X semiconductor 100. Los objetos y el cuerpo humano pueden retrodispersar los rayos X de manera diferente. El detector de rayos X semiconductor 100 forma una imagen al detectar la distribución de intensidad de los rayos X retrodispersados. El detector de rayos X semiconductor 100 y la fuente de rayos X 1601 pueden configurarse para escanear al ser humano en una dirección lineal o rotacional.

La Figura 17 muestra esquemáticamente un sistema de tomografía computarizada de rayos X (CT de rayos X). El sistema CT de rayos X utiliza rayos X procesados por ordenador para producir imágenes tomográficas ("cortes" virtuales) de áreas específicas de un objeto escaneado. Las imágenes tomográficas pueden usarse con fines de diagnóstico y terapéuticos en diversas disciplinas médicas, o para la detección de fallas, análisis de fallas, metrología, análisis de ensamblaje e ingeniería inversa. El sistema CT de rayos X comprende el detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción y una fuente de rayos X 1701. El detector de rayos X semiconductor 100 y la fuente de rayos X 1701 pueden configurarse para girar sincrónicamente a lo largo de uno o más caminos circulares o espirales.

La Figura 18 muestra esquemáticamente un microscopio electrónico. El microscopio electrónico comprende una fuente de electrones 1801 (también llamada pistola de electrones) que se configura para emitir electrones. La fuente de electrones 1801 puede tener varios mecanismos de emisión tales como termoiónico, fotocátodo, emisión en frío o fuente de plasmas. Los electrones emitidos pasan a través de un sistema óptico electrónico 1803, que puede configurarse para dar forma, acelerar o enfocar los electrones. Los electrones luego alcanzan una muestra 1802 y un detector de imagen puede formar una imagen a partir de ella. El microscopio electrónico puede comprender el detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción, para realizar la espectroscopía de rayos X con dispersión de energía (EDS). EDS es una técnica analítica utilizada para el análisis elemental o la caracterización química de una muestra. Cuando los electrones inciden en una muestra, provocan la emisión de rayos X característicos de la muestra. Los electrones incidentes pueden excitar un electrón en la capa interna de un átomo en la muestra, expulsándolo de la capa mientras crea un agujero de electrones donde estaba el electrón. Un electrón de una capa externa de energía más alta llena el agujero, y la diferencia de energía entre la capa de energía más alta y la capa de energía más baja puede liberarse en forma de rayos X. El detector de rayos X semiconductor 100 puede medir el número y la energía de los rayos X emitidos por la muestra.

El detector de rayos X semiconductor 100 descrito en la presente descripción puede tener otras aplicaciones tales como un telescopio de rayos X, mamografía de rayos X, detección de defectos de rayos X industriales, microscopía de rayos X o microrradiografía, inspección de fundición de rayos X, rayos X pruebas no destructivas, inspección de soldadura por rayos X, angiografía por sustracción digital de rayos X, etc. Puede ser adecuado usar este detector de rayos X semiconductor 100 en lugar de una placa fotográfica, una película fotográfica, una placa de PSP, un intensificador de imágenes de rayos X, un centelleador u otro detector de rayos X semiconductor.

Aunque los diversos aspectos y modalidades se han descrito en la presente descripción, otros aspectos y modalidades resultarán evidentes para los expertos en la técnica. Los diversos aspectos y modalidades descritas en la presente descripción tienen fines ilustrativos y no pretenden ser limitantes, con el verdadero alcance de la invención definido por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (100) adecuado para detectar rayos X que comprende:
 una capa de absorción de rayos X (110) que comprende un electrodo;
 un primer comparador de tensión (301) configurado para comparar una tensión del electrodo con un primer umbral;
 un segundo comparador de tensión (302) configurado para comparar la tensión con un segundo umbral;
 un contador (320) configurado para registrar una cantidad de fotones de rayos X absorbidos por la capa de absorción de rayos X;
 un controlador (310);
 en donde el controlador se configura para iniciar un retraso de tiempo desde un momento en donde el primer comparador de tensión determina que un valor absoluto de la tensión es igual o superior a un valor absoluto del primer umbral;
 en donde el controlador se configura para activar el segundo comparador de tensión durante el retraso de tiempo;
 en donde el controlador se configura para hacer que el número registrado por el contador aumente en uno, si el segundo comparador de tensión determina que un valor absoluto de la tensión es igual o superior a un valor absoluto del segundo umbral.
2. El aparato de la reivindicación 1 que comprende además un módulo de condensador conectado eléctricamente al electrodo, en donde el módulo de condensador se configura para recoger portadores de carga del electrodo.
3. El aparato de la reivindicación 1 o 2, en donde el controlador se configura para activar el segundo comparador de tensión al comienzo o a la expiración del retraso de tiempo.
4. El aparato de la reivindicación 1, 2 o 3, que comprende además un voltímetro, en donde el controlador se configura para hacer que el voltímetro mida la tensión al expirar el retraso de tiempo.
5. El aparato de la reivindicación 4, en donde el controlador se configura para determinar una energía de fotones de rayos X basada en un valor de la tensión medido al expirar el retraso de tiempo.
6. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el controlador se configura para conectar el electrodo a una tierra eléctrica.
7. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la capa de absorción de rayos X comprende un diodo y/o comprende silicio, germanio, GaAs, CdTe, CdZnTe, o una combinación de los mismos.
8. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato no comprende un centelleador.
9. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato comprende una matriz de píxeles.
10. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el controlador se configura para desactivar el primer comparador de tensión al comienzo del retraso de tiempo.
11. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el controlador se configura para desactivar el segundo comparador de tensión al expirar el retraso de tiempo o en un momento en que el segundo comparador de tensión determina que el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral, o un tiempo intermedio.
12. Un método que comprende:
 iniciar un retraso de tiempo desde un momento en donde el valor absoluto de una tensión de un electrodo de una capa de absorción de rayos X (110) iguala o excede un valor absoluto de un primer umbral;
 activar un segundo circuito (302) durante el retraso de tiempo;
 comparar el valor absoluto de la tensión con un valor absoluto de un segundo umbral; y en donde si el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral, aumentar en uno el recuento de fotones de rayos X incidentes en la capa de absorción de rayos X.
13. El método de la reivindicación 12 que comprende además medir la tensión al expirar el retraso de tiempo; y determinar una energía de fotones de rayos X basada en un valor de la tensión al expirar el retraso de tiempo.

14. El método de la reivindicación 12 o el aparato de la reivindicación 1, en donde una tasa de cambio de la tensión es sustancialmente cero al expirar el tiempo de retraso.
- 5 15. El método de la reivindicación 12 o el aparato de la reivindicación 1, en donde una tasa de cambio de la tensión es sustancialmente diferente de cero al expirar el retraso de tiempo.
16. El método de cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15 que comprende además desactivar un primer circuito al comienzo o durante el retraso de tiempo, en donde el primer circuito se configura para comparar el valor absoluto de la tensión con el valor absoluto del primer umbral.
- 10 17. El método de cualquiera de las reivindicaciones 12 a 16 que comprende además desactivar el segundo circuito a una expiración de retraso de tiempo o en un momento en que el valor absoluto de la tensión es igual o superior al valor absoluto del segundo umbral.

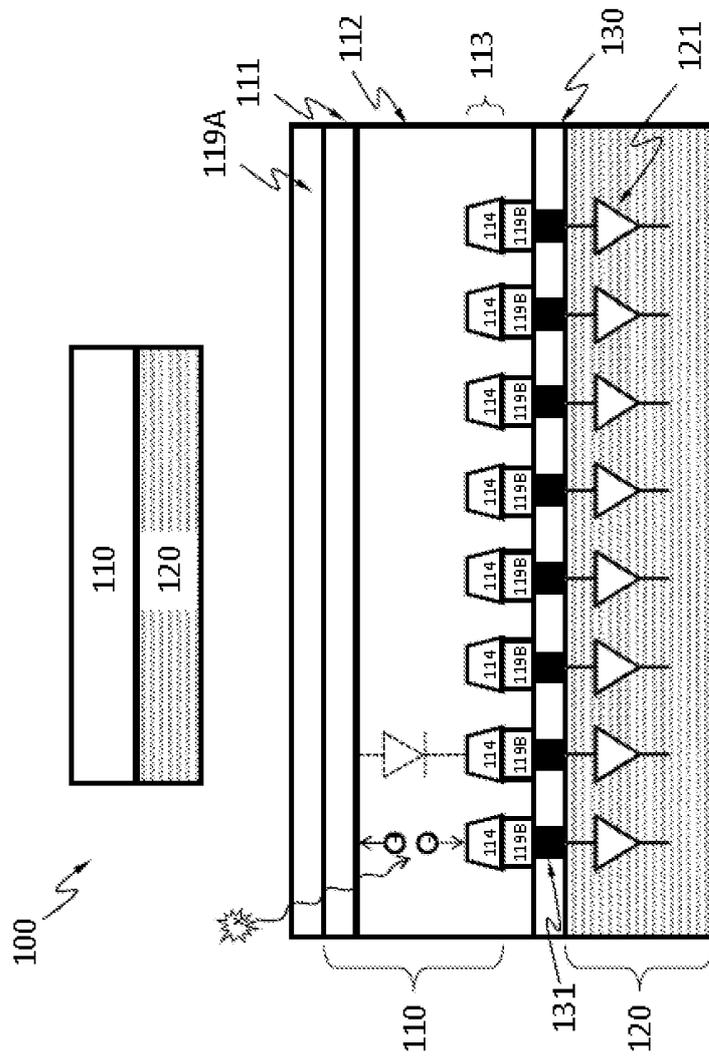


Figura 1A

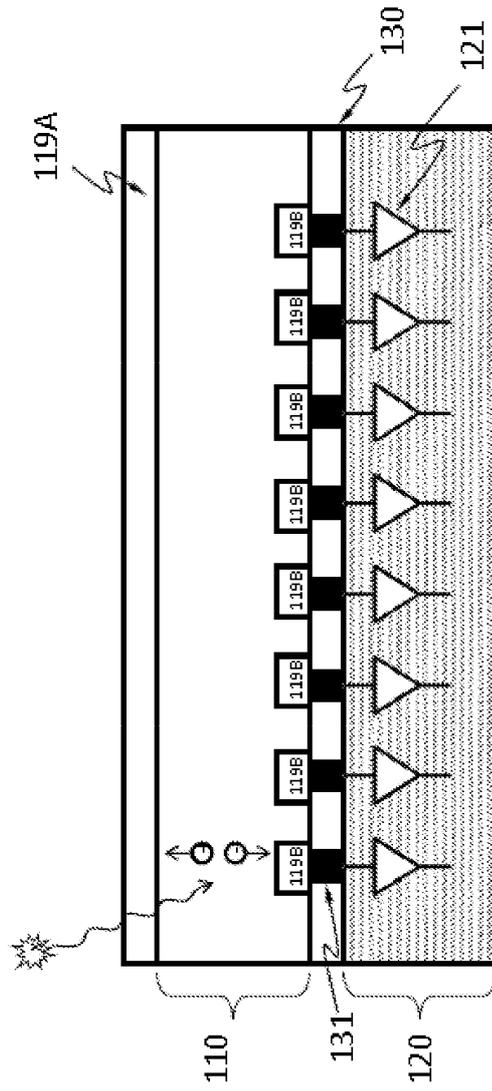


Figure 1B

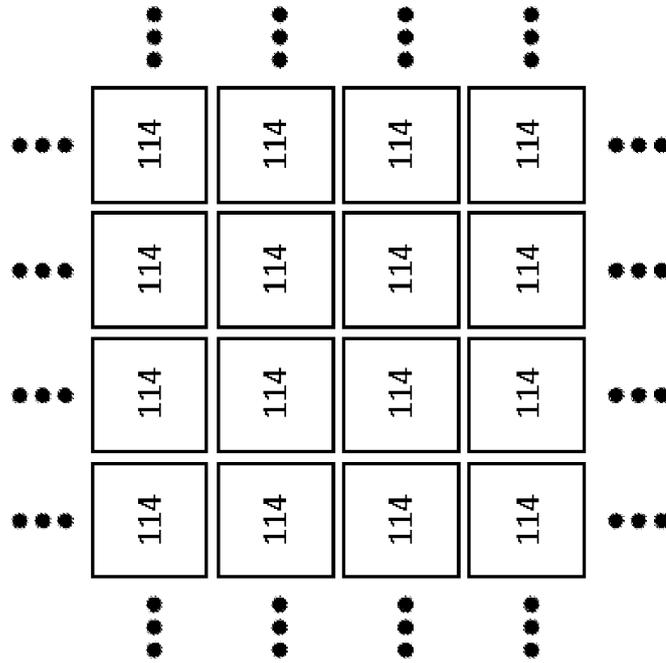


Figura 2

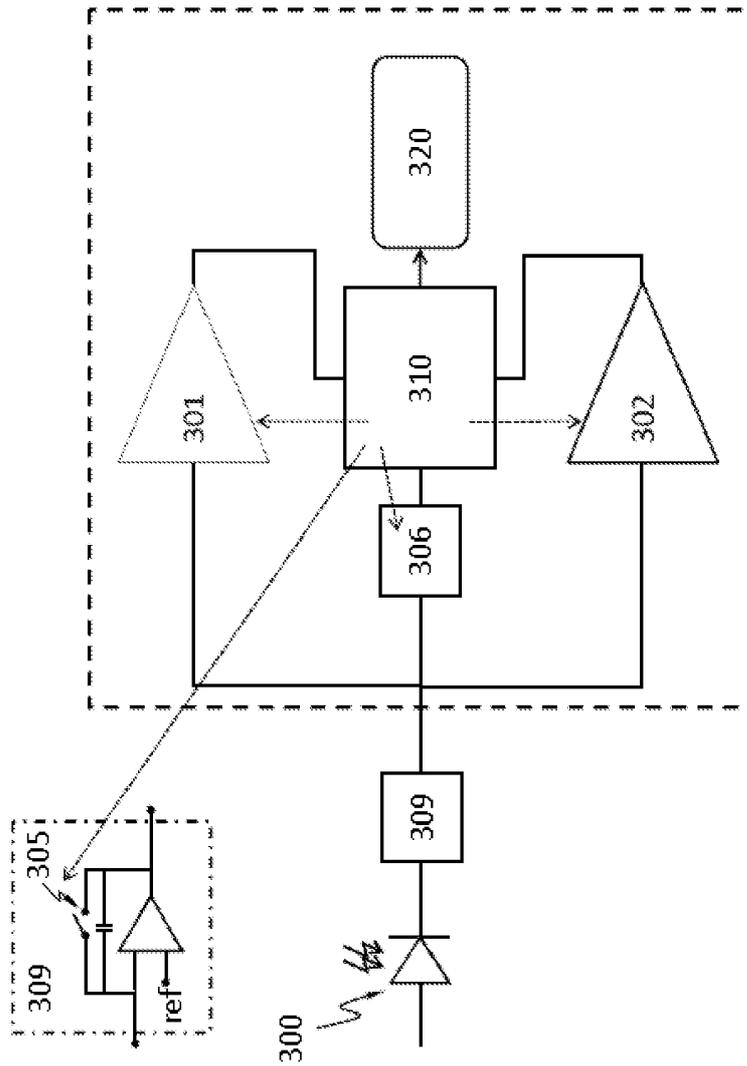


Figura 3A

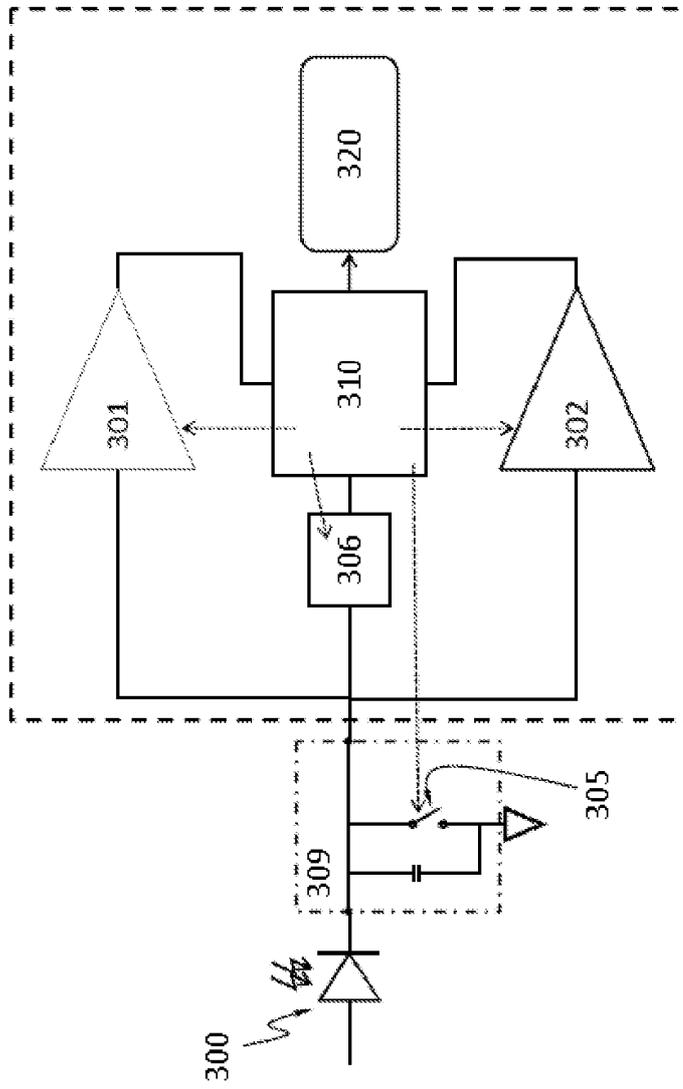


Figura 3B

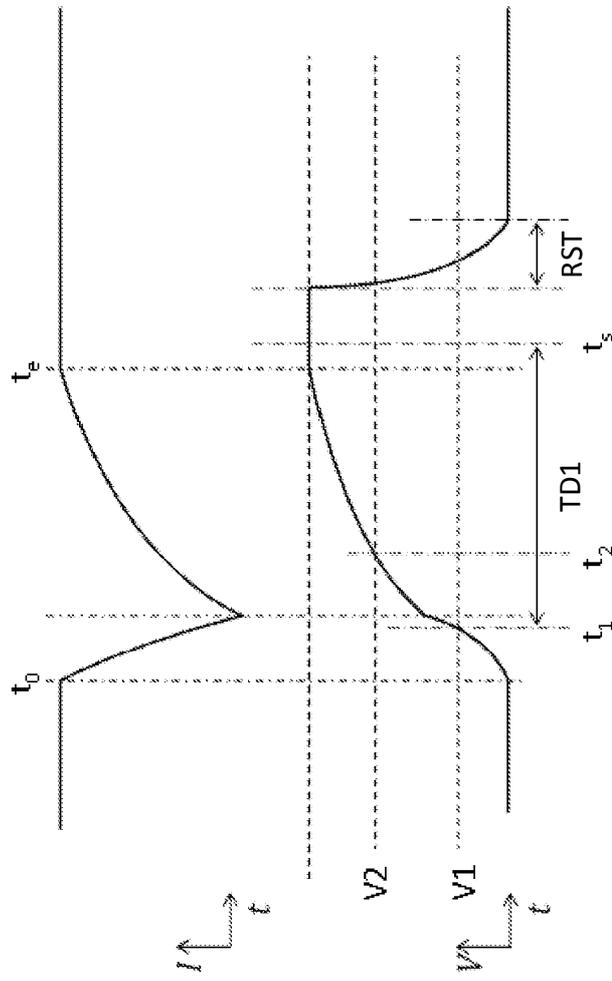


Figura 4

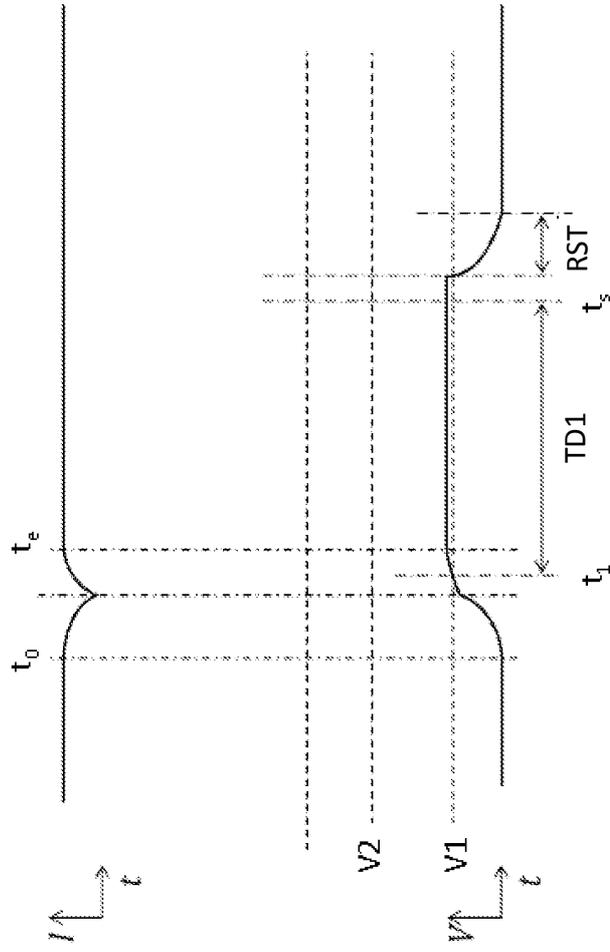


Figura 5

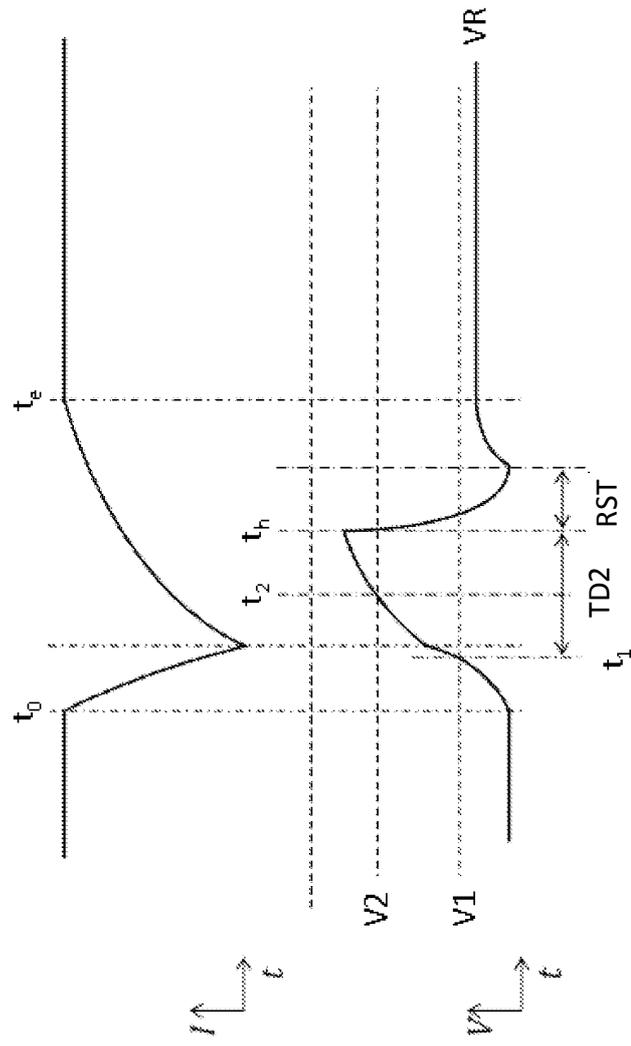


Figura 6

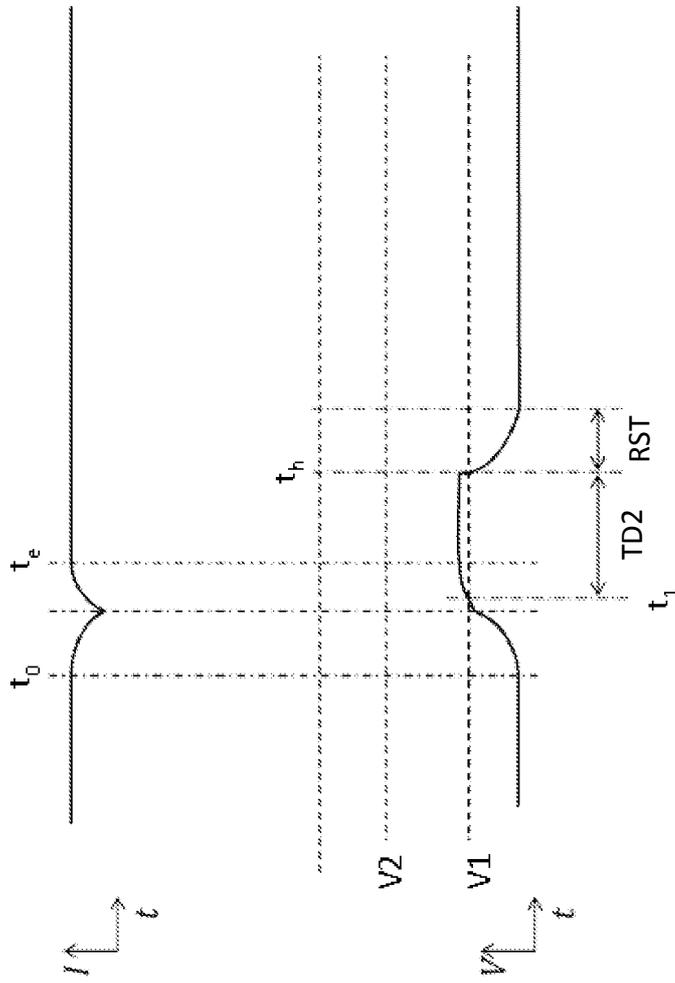


Figura 7

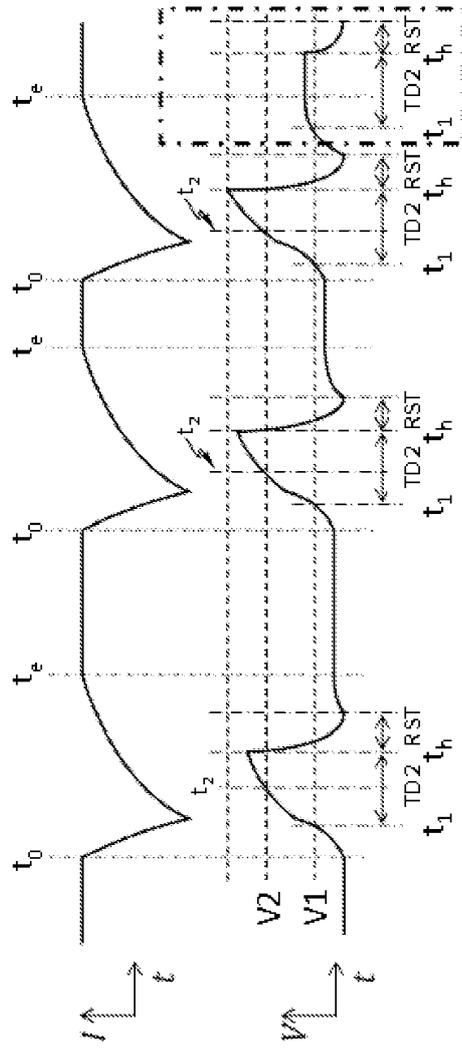


Figura 8

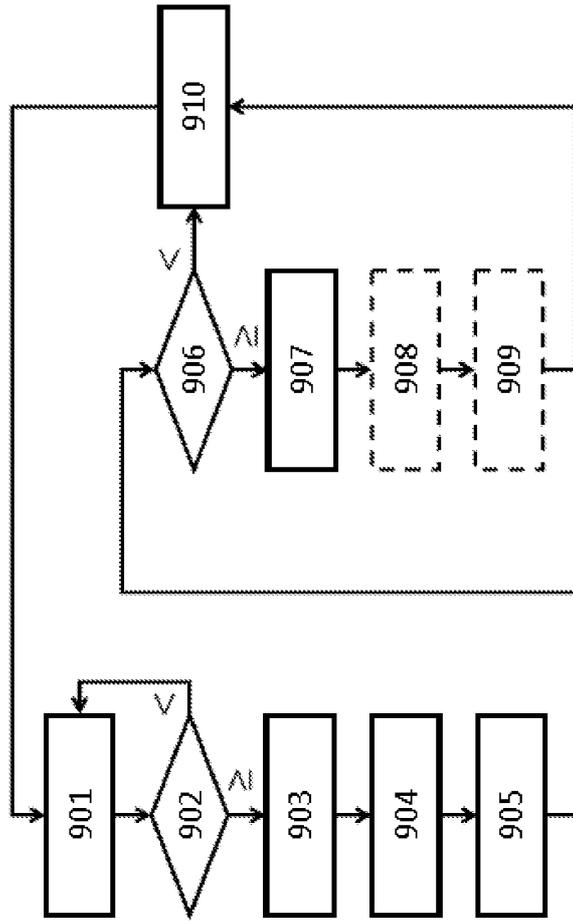


Figura 9A

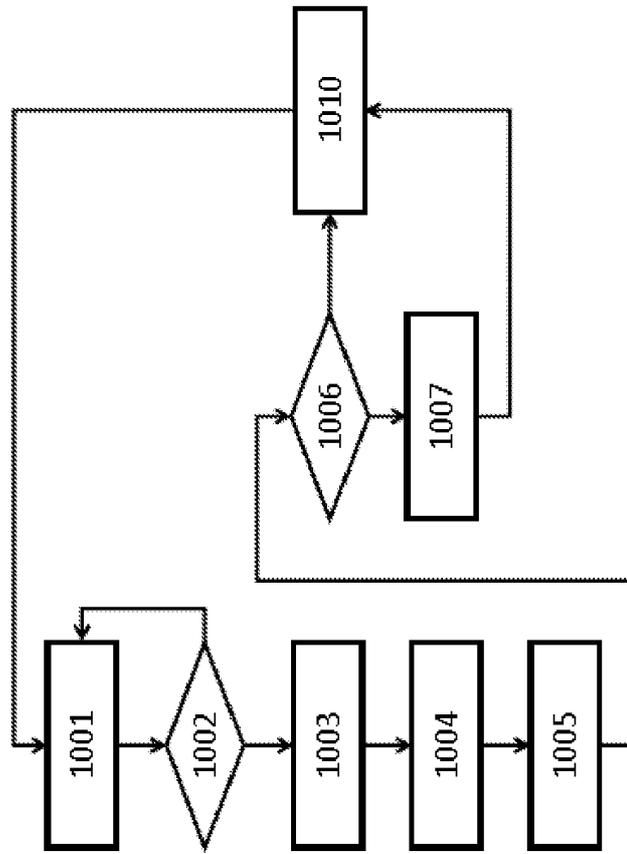


Figura 9B

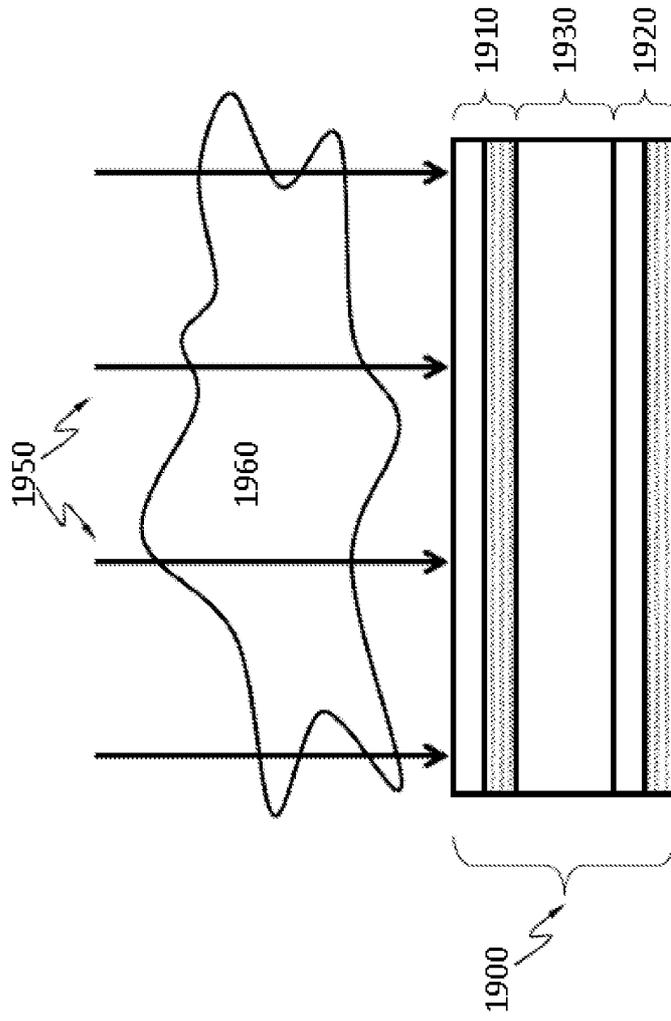


Figura 10

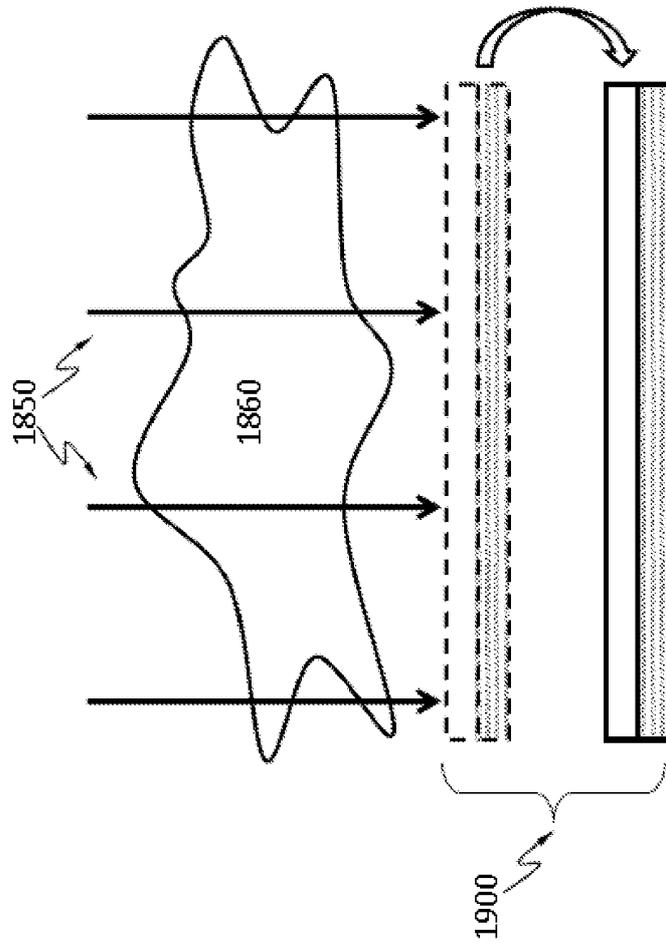


Figure 11

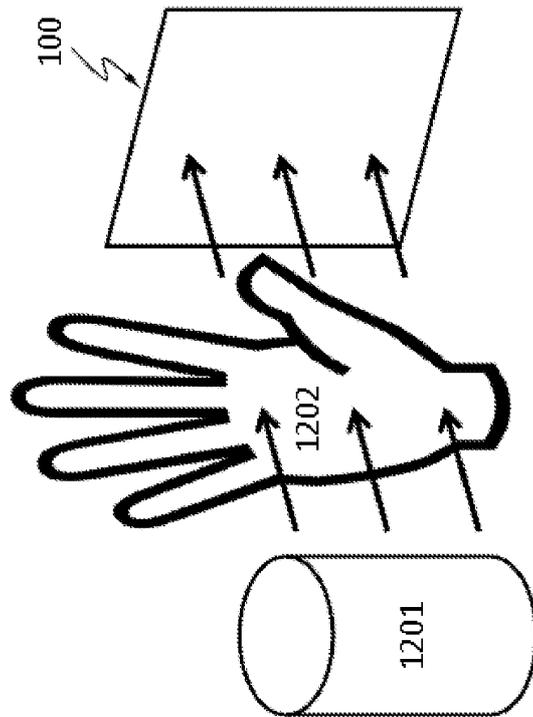


Figure 12

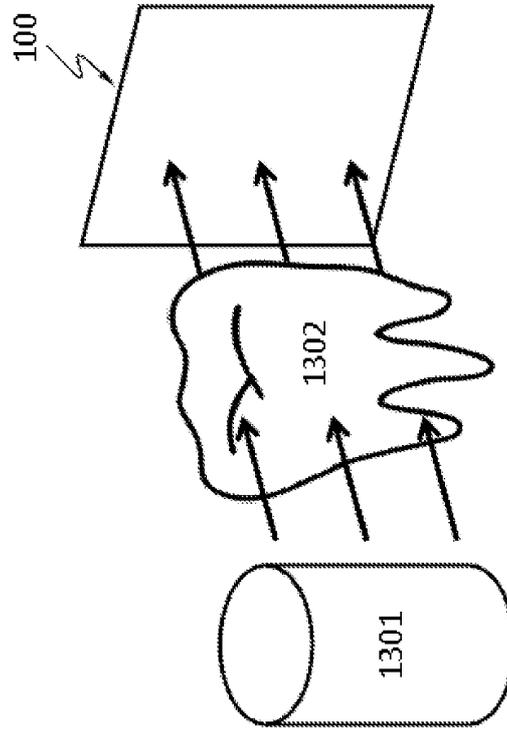


Figure 13

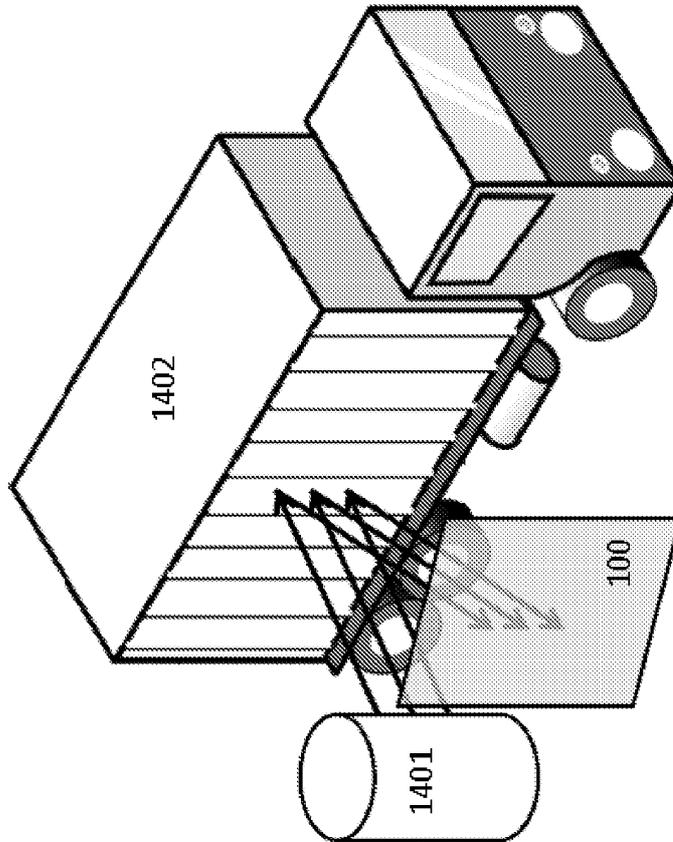


Figure 14

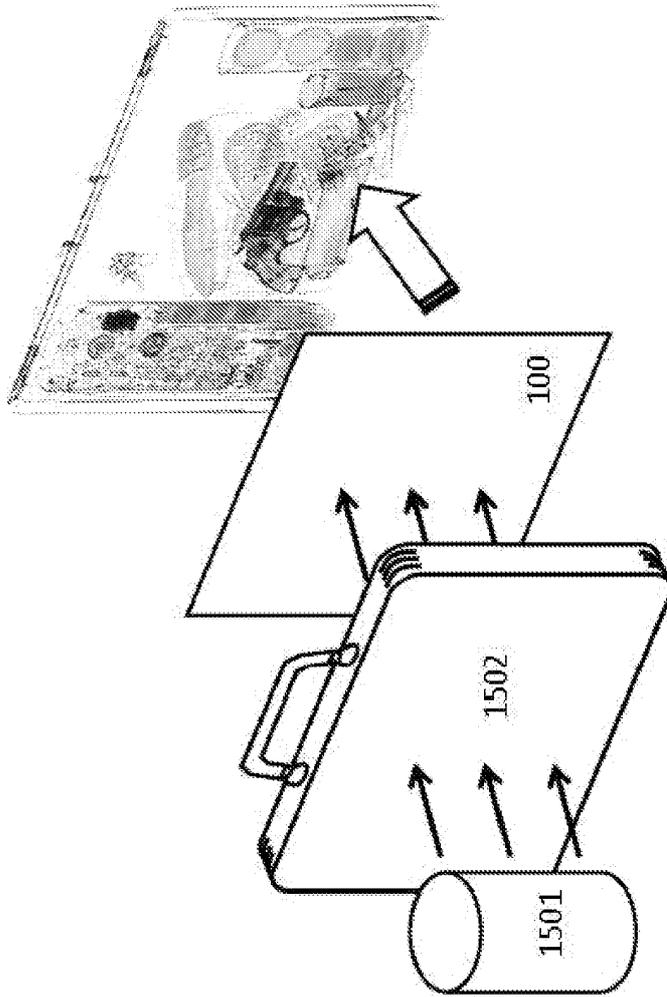


Figura 15

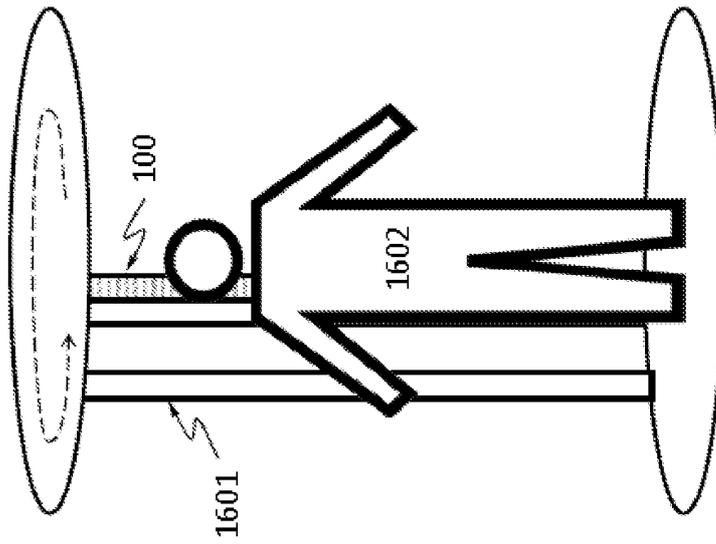


Figura 16

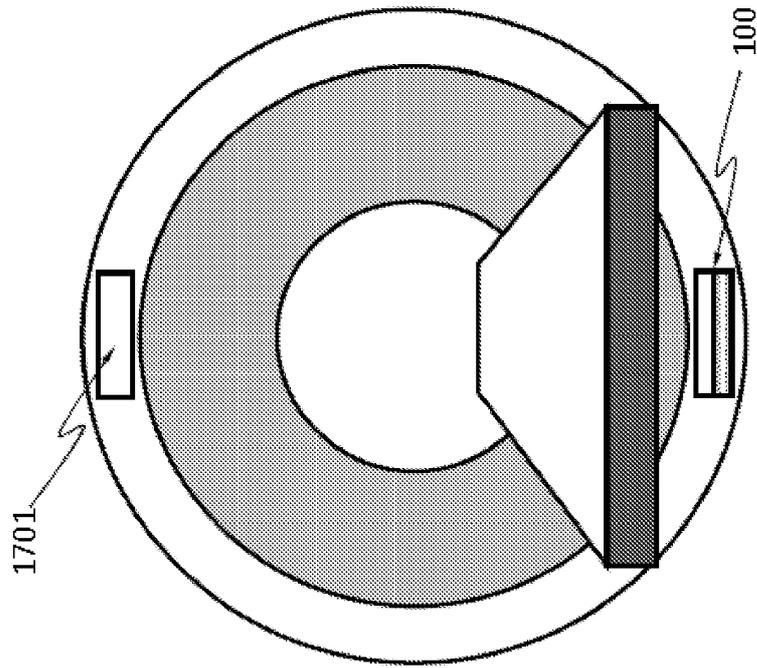


Figura 17

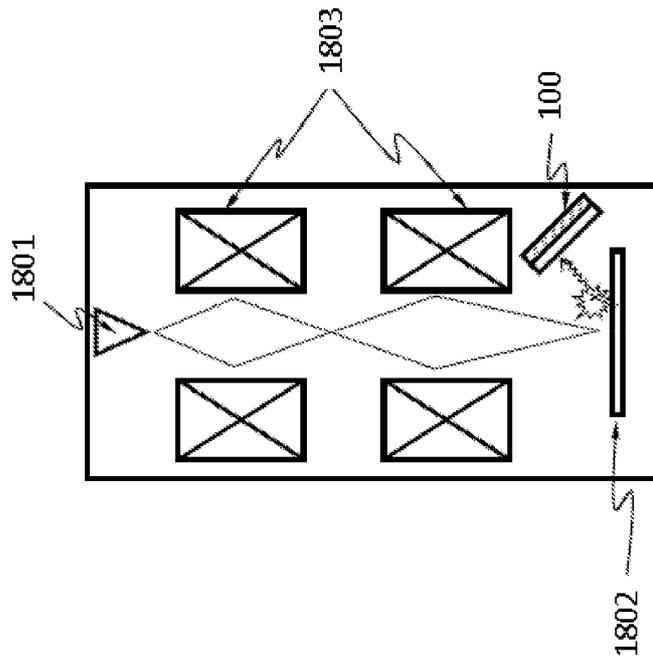


Figura 18