

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 679 099**

51 Int. Cl.:

**H01L 27/146** (2006.01)

**G01T 1/29** (2006.01)

**H04N 5/32** (2006.01)

**H04N 5/335** (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2003 PCT/US2003/020839**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.01.2004 WO04008488**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2003 E 03817490 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018 EP 1540730**

54 Título: **Dispositivo de formación de imágenes de radiación de recuento de fotones / pulsos, píxeles de detectores agrupados**

30 Prioridad:

**11.07.2002 US 194336**

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

**22.08.2018**

73 Titular/es:

**OY AJAT LTD. (100.0%)  
Tekniikantie 4B  
02150 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**SPARTIOTIS, KONSTANTINOS, E.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 679 099 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 de formación de imágenes de radiación de recuento de fotones / pulsos, píxeles de detectores agrupados

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere al campo de los dispositivos semiconductores para detectar y analizar imágenes de energía radiante de rayos gamma y rayos X. Más específicamente, la presente invención se refiere a dispositivos en los que el análisis de imágenes se produce por medio de energía radiante incidente en el dispositivo que produce un flujo de corriente en una célula de píxeles que tiene múltiples puntos accesibles eléctricamente en dos sustratos semiconductores diferentes. En particular, la presente invención se refiere a dispositivos de formación de imágenes de recuento de fotones/pulsos de radiación en los que, en general, las células de píxeles tienen un mayor número de píxeles de detectores procesados en el sustrato de fotoconductor/detector que el número de circuitos de recuento de píxeles procesados en el sustrato de recuento/lectura con el que se comunican los píxeles de detectores.

**Antecedentes de la invención**

15 En los últimos diez años, la formación de imágenes de radiación digital ha ido reemplazando gradualmente a la formación de imágenes de radiación convencional para ciertas aplicaciones. En las aplicaciones de formación de imágenes de radiación convencionales, el medio de detección o grabación es una película fotosensible o un dispositivo analógico tal como un intensificador de imágenes. La formación de imágenes de radiación digital se realiza convirtiendo la radiación que incide en el dispositivo de formación de imágenes en una señal electrónica dentro de un material de conversión y, en consecuencia, digitalizando dicha señal electrónica.

20 Actualmente existen dispositivos para formar imágenes de radiación digital, y típicamente se dividen en dos clases: detección de radiación directa y detección de radiación indirecta. En los dispositivos de detección de radiación directa, la radiación incidente o que incide se convierte localmente en carga eléctrica que a continuación se recoge en los contactos de recogida/píxeles de detectores, y a continuación se comunica como señales electrónicas para leer los circuitos. Los circuitos de lectura realizan diversas funciones, incluida la digitalización.

25 Los dispositivos de detección de radiación directa comprenden típicamente un fotoconductor o sustrato de detector que convierte la radiación incidente en señales electrónicas, y un sustrato de lectura que recibe, procesa y lee las señales electrónicas para formación de imágenes. Existen diferentes tipos de tecnologías de sustrato fotoconductor/detector y también diferentes tecnologías de sustrato de lectura usadas en dispositivos de detección de radiación directa. Entre estas se incluyen: SBBASIC (Semiconductor con enlace de choque en ASIC), a-SGTFT (Semiconductor amorfo producido en TFT) y a-SGASIC (Semiconductor amorfo producido en ASIC). ASIC significa Circuito integrado específico de aplicación y TFT significa matriz de transistores de película fina.

30 Los dispositivos de formación de imágenes de tipo SBBASIC comprenden al menos dos sustratos semiconductores sustancialmente coplanares: un sustrato de detector/fotoconductor de semiconductor cristalino unido discretamente a un sustrato de lectura de semiconductor. Típicamente, el sustrato de detector/fotoconductor tiene una primera superficie principal para recibir radiación que incide sobre el dispositivo, y una segunda superficie principal opuesta sobre la que está dispuesta una matriz bidimensional de píxeles de detectores. La radiación entrante incide sobre la primera superficie del sustrato de detector y se absorbe en el espesor del material fotoconductor. En respuesta a la absorción de la radiación, se generan cargas eléctricas en el material fotoconductor. Por ejemplo, si el material fotoconductor es CdTe, 45 keV de energía de radiación incidente puede generar una carga de aproximadamente 10 000 electrones, y de manera similar, 70 keV de energía de radiación puede generar una carga de 15 500 electrones, 40 100 keV de energía de radiación puede generar aproximadamente 22 000 electrones y 140 keV de la radiación puede generar aproximadamente 31 000 electrones. Otros materiales fotoconductores pueden generar diferentes niveles de carga en la absorción de niveles similares de radiación incidente, pero de manera similar.

45 Bajo la influencia de un campo eléctrico, las cargas generadas se desplazan hacia y se recogen en los colectores de carga (o electrodos de recogida de carga) en la segunda superficie del sustrato del detector. Cada contacto del colector de carga define un "píxel de detector" en la segunda superficie del sustrato del detector. Cada píxel de detector está conectado conductivamente a una "entrada de circuito de píxeles" en la superficie adyacente del sustrato de lectura. En un dispositivo de formación de imágenes de tipo SBBASIC, la conexión entre un píxel de detector y una entrada de circuito de píxeles se lleva a cabo mediante un enlace de choque. En los SBBASIC de recuento de fotones/pulsos, cada entrada de circuito de píxeles es una entrada a un circuito de recuento de píxeles ASIC procesado en el sustrato de lectura. El circuito de recuento de píxeles ASIC puede incluir una pluralidad de diversos circuitos o características para amplificar, almacenar, digitalizar, etc. las señales de carga eléctrica del sustrato de detector y contar los fotones absorbidos o los pulsos de carga generados.

55 Los dispositivos de formación de imágenes de recuento de fotones o pulsos han estimulado un considerable interés en las comunidades científica y comercial porque ofrecen el potencial de algunas ventajas significativas sobre otras tecnologías relacionadas:

1. Debido a que el pulso de carga generado por cada fotón se procesa individualmente, puede proporcionar información sobre la energía del fotón absorbido. Por lo tanto, los fotones se pueden contar o descartar dependiendo

de su nivel de energía. Esto, a su vez, mejora la resolución del contraste porque los fotones de menor energía suelen ser fotones típicamente dispersos que, a menos que se descarten, deteriorarían la calidad de la imagen.

2. Dado que las señales electrónicas debidas a los pulsos de fotones se digitalizan y cuentan, el dispositivo es menos sensible al ruido de fondo, a la fuga del detector/corriente oscura, etc. Nota: "corriente oscura" es el flujo de corriente de fondo en el dispositivo sin presencia de radiación incidente.

3. No hay necesidad de digitalización externa, porque se realiza "en chip", lo cual hace que el sistema de formación imágenes sea más simple y potencialmente menos costoso.

Reconociendo estas ventajas, el campo ha sido motivado para desarrollar dispositivos de formación de imágenes digitales de recuento de fotones/pulsos que los incorporan. Las Patentes de Estados Unidos 6 248 990 y 6 355 923 de Pyyhtia *et al.* son ejemplos relativos de algunos de los últimos esfuerzos para incorporar las ventajas del recuento de fotones/pulsos en dispositivos de formación de imágenes digitales.

Las Figs. 1A y 1B ilustran en general una matriz de células de píxeles **20** típicas de la técnica anterior en el campo y como se enseña en la patente Pyyhtia '990. La célula de píxeles **20** comprende un píxel de detector individual **36** en comunicación eléctrica con un único circuito de recuento de píxeles **31** en el sustrato de semiconductor de lectura **32**. El electrodo colector de carga **38** del píxel de detector **36** se procesa sobre la superficie de píxeles **40** del sustrato semiconductor de detector **30**. El electrodo colector de carga **38** está conectado eléctricamente a la entrada de circuito de píxeles **33** del circuito de recuento de señales de píxeles **31** en la superficie de lectura **42** del sustrato de semiconductor de lectura **32** a través de un contacto de píxeles (enlace de choque) **35**. El material fotoconductor **34** de los píxeles de detectores **36** absorbe la radiación entrante y, en respuesta a la absorción, genera cargas eléctricas. Las cargas eléctricas se recogen en los electrodos colectores de carga **38** y se comunican eléctricamente a través de los enlaces de choque de contacto de píxeles **35** con la entrada de circuito de píxeles **33** del circuito de recuento de señales de píxeles **31** en el sustrato de semiconductor de lectura **32**. Ver también Orava *et al.*, Patente de Estados Unidos 5 812 191 y Spartiotis y *col.*, Patente de Estados Unidos 5 952 646, que divulgan modos de realización alternativos de dispositivos de formación de imágenes de radiación digital de tipo SBBASIC, Fig. 1B como una ilustración alternativa de la técnica anterior incorporada. en la Fig. 1A. Muy recientemente, Pyyhtia *et al.*, Patente de Estados Unidos 6 355 923 divulgaron desarrollos en el campo de la técnica que se mueven en la dirección de tener cada píxel de detector **36** asociado con uno o más circuitos recuento de señales de píxeles **31**. Específicamente, como se muestra en la Fig. 2, en el dispositivo de la técnica anterior de la patente '923, un píxel de detector **36** puede estar en comunicación eléctrica con más de un circuito de recuento de señales de píxeles **31**.

Los dispositivos de recuento de fotones/pulsos de la técnica anterior mencionada anteriormente tienen una relación numérica entre los píxeles de detectores y los circuitos de recuento de señales de píxeles de manera que el número de píxeles de detectores es siempre igual o menor que el número de circuitos de recuento de células de píxeles. Aunque este enfoque es aparentemente directo y simple, tiene ciertas limitaciones funcionales potencialmente significativas relacionadas con la calidad o resolución de la imagen debido a: (1) captura de agujeros y (2) reparto de carga entre los píxeles.

#### En cuanto a la captura de agujeros:

En los dispositivos de formación de imágenes que utilizan el absorbente de radiación más deseable actualmente de los materiales fotoconductores, como CdTe y CdZnTe, la resolución de energía puede limitarse mediante "captura de agujeros". En términos simples, cada vez que se captura un fotón de alta energía es capturado dentro de estos materiales detectores de semiconductores, se genera una cantidad igual de señal de electrón y de agujero. Los electrones son bastante móviles y alcanzan el electrodo colector de electrones de un píxel de detector relativamente rápido. Sin embargo, los agujeros migran bastante lentamente en comparación con los electrones, y antes de que los agujeros puedan completar su migración (por ejemplo, hacia un electrodo con carga negativa) quedan atrapados. Como resultado, la señal inducida final sufre una resolución de energía.

La teoría del detector de semiconductores predice que cuanto menor sea el tamaño de los píxeles de detectores que recogen los electrones, mejor será para la señal inducida final. Puede encontrarse un análisis completo del "efecto de pequeño píxel" en "Señales inducidas en dispositivos semiconductores de formación de imágenes de rayos gamma", Journal of Applied Physics, Volumen 85, Número 2, página 647, 15-1-1999 de J.D. Eskin *et al.* Sin embargo, este efecto de "píxel pequeño" "funciona" en la dirección opuesta necesaria para eliminar el "reparto de carga" entre los píxeles de detectores analizado en el siguiente artículo. Además, las aplicaciones de recuento de fotones/pulsos más típicas destinadas a la medicina nuclear requieren una célula de píxeles de imagen bastante grande del orden de 0,5 mm a 4 mm. Disminuir el tamaño de los píxeles de la imagen y aumentar el número de canales de lectura aumentaría la complejidad de lectura correspondiente.

#### Reparto de carga entre los píxeles de detectores.

A medida que los electrones se desplazan hacia la carga recogiendo píxeles de detectores, también se separan en la dirección lateral. Dependiendo del espesor del material de detector de fotoconductor y la energía del fotón absorbido, en el momento en que un paquete de carga de electrones alcanza los píxeles de detectores las dimensiones del paquete de carga pueden haber aumentado y su densidad de carga disminuido. Si los píxeles de detectores se hacen

más pequeños para compensar la captura de agujeros de acuerdo con el elemento (1), entonces el paquete de carga será compartido por más de un píxel. Esta distribución de carga entre los píxeles de detectores podría crear una firma falsa (acierto o fallo) en el circuito de recuento de señales de píxeles asociado con un detector de píxeles que recibe una parte de un paquete de carga, porque un pulso inicialmente mayor se verá como dos pulsos más pequeños independientes.

Por lo tanto, para eliminar el "efecto de reparto carga", el electrodo de recogida de carga de un píxel de detector (que define el tamaño del píxel de detector) debe ser lo más grande posible. Sin embargo, esta resolución del "efecto de reparto de carga" contraviene los medios para resolver el problema de la "captura de agujeros" analizado anteriormente.

Por lo tanto, en vista de estas limitaciones en la calidad o resolución de la imagen, sería beneficioso sobre el terreno contar con un dispositivo de formación de imágenes de radiación digital alternativo que reduzca o elimine sustancialmente las limitaciones en la calidad o resolución de la imagen debido a los efectos de "captura de agujeros" y "reparto de carga". Por ejemplo, sería ventajoso tener un dispositivo de formación de imágenes de recuento de fotones/pulsos en el que el tamaño del píxel de detector disminuya para lograr el "efecto de píxel pequeño" beneficioso para reducir o eliminar los problemas de captura de agujeros, sin aumentar el número de circuitos de recuento de señales de píxeles, de modo que, al disminuir las señales de píxeles de tamaño de píxel de detector, la velocidad de procesamiento no se vea comprometida.

En el artículo IEEE "Medipix2, un chip de lectura de 64k píxeles con elementos cuadrados de 55  $\mu\text{m}$  funcionando en modo de recuento de fotones individuales", se presenta una solución de la técnica anterior para un chip de lectura de píxeles que tiene células de píxeles de 55  $\mu\text{m}$  x 55  $\mu\text{m}$  donde una abertura octogonal de 20  $\mu\text{m}$  de ancho conecta el detector y la entrada del preamplificador a través del enlace de choque. En D1, cada célula de detector está conectada a un circuito de recuento.

En el documento de patente US-6 011 531 se presenta una solución de la técnica anterior para una estructura de matriz de píxeles bidimensional que incluye elementos de píxeles a los que están conectados varios conmutadores TFT con diferentes voltajes de umbral. La solución divulgada presenta una solución de la técnica anterior en relación con las matrices de píxeles controladas por TFT utilizadas en escáneres de imágenes bidimensionales y pantallas de grandes superficies.

En el documento de solicitud de patente WO-01/13140 se presenta una solución de la técnica anterior para un dispositivo de tomografía computarizada para diagnóstico por imágenes. El dispositivo de CT de la técnica anterior divulgado tiene elementos de detector de matriz de detectores dispuestos en grupos con lectura secuencial de señales de detector de diferentes grupos.

En el artículo de Elsevier "Un chip de lectura de píxeles para el proyecto PILATUS", se presenta una solución de la técnica anterior para un chip de lectura de píxeles que tiene células de píxeles de 200  $\mu\text{m}$  x 200  $\mu\text{m}$ . En D4, cada célula de detector está conectada a un circuito de recuento.

El documento "Un sensor de píxel activo monolítico para el seguimiento de partículas cargadas y formación de imágenes utilizando la tecnología VLSI CMOS estándar", de Turchetta et al., Instrumentos y procedimientos nucleares en investigación de física, Sección A: Aceleradores, Espectrómetros, Detectores y Equipo Asociado, Elsevier, vol. 458, no. 3, 1 de febrero de 2001, páginas 677-689, divulga un sensor de píxeles para el seguimiento de partículas cargadas. Los rayos X suaves se utilizan para probar el sensor de píxeles de seguimiento de partículas cargadas. El sensor de seguimiento comprende, por ejemplo, un sensor de cuatro diodos.

### Sumario de la invención

La presente invención es una célula de píxeles de detectores agrupados y un dispositivo de formación de imágenes de radiación para formación de imágenes de radiación en el rango de frecuencias de rayos X y rayos gamma, por ejemplo, a más de 1 keV. Más específicamente, la presente invención es un dispositivo de formación de imágenes digitales de recuento de fotones/pulsos, una matriz de células de píxeles de detectores agrupados ("matriz GDPC"). La matriz GDPC comprende múltiples células de píxeles de "detectores agrupados" (GDPC) dispuestas en estrecha proximidad entre sí en una estructura laminada formada por dos sustratos semiconductores: un sustrato de detector/fotoconductor y un sustrato de recuento/lectura. La célula de píxeles de detectores agrupados comprende una matriz de píxeles de detectores de múltiples píxeles de detectores dispuestos cerca de un sustrato de detector de semiconductores, y cada píxel de detector está en comunicación eléctrica con solo un circuito de recuento de señales de píxeles individual, el circuito de recuento de señales de píxeles está dispuesto en una lectura de semiconductor sustrato adyacente al sustrato de detector de semiconductores. Los sustratos semiconductores pueden tener una configuración sustancialmente planar y pueden estar dispuestos adyacentes entre sí con sus planos en paralelo para formar una estructura laminada en el dispositivo de formación de imágenes ensamblado.

El material del sustrato de detector/fotoconductor de semiconductor genera carga eléctrica en respuesta a impactos de radiación absorbentes que inciden sobre la superficie de radiación o primera principal del sustrato de detector. Los materiales fotoconductores son conocidos en la técnica y son fácilmente seleccionables por el experto en la materia para la práctica en la presente invención. Entre los ejemplos de tales materiales fotoconductores se incluyen: CdTe,

CdZnTe, GaAs, Si, Ge, Pbl, Hgl, TlBr y CdHgTe. El sustrato de detector es sustancialmente planar y tiene una segunda superficie principal o de píxeles en la que se procesa una matriz de detectores de una pluralidad de píxeles de detección. El sustrato de recuento/lectura de semiconductor también tiene una primera superficie principal o de lectura que tiene una matriz de circuito de píxeles de una pluralidad de circuitos de recuento de señales de píxeles procesadas en la misma. En combinación, los sustratos de lectura y de detector de semiconductores definen una matriz GPC de una pluralidad de las células de píxeles de "detectores agrupados" presentes.

Una célula de píxeles de detectores agrupados de la presente invención se define como una unidad que comprende un circuito de recuento de señales de píxeles en comunicación eléctrica con una pluralidad de detectores de píxeles asociados para contar impactos de radiación que inciden en el sustrato de detector de los detectores de píxeles asociados. Además, cada célula de píxeles de detectores agrupados se define mediante sus detectores de píxeles que están en comunicación eléctrica solamente con el circuito de recuento de señales de píxeles asociado. Por consiguiente, en una célula de píxeles de detectores agrupados individual o en la matriz GPC en conjunto, el número de píxeles de detectores procesados en el sustrato del detector es siempre más grande que el número de circuitos de recuento de señales de píxeles procesados en el sustrato de recuento/lectura.

En otras palabras, el presente dispositivo de formación de imágenes de energía mediante radiación de rayos X y rayos gamma comprende una matriz de múltiples células de píxeles de "detectores agrupados". Una célula de píxeles de "detectores agrupados" individual se define como un circuito de recuento de señales de píxeles individual en comunicación eléctrica con un número (grupo) de píxeles de detectores asociados, con los píxeles de detectores asociados (píxeles de detectores agrupados) solo en comunicación eléctrica con el circuito de recuento de señales de píxeles individuales.

Los píxeles de detectores están dispuestos en una matriz de píxeles de detectores procesada sobre la superficie de píxeles del sustrato de detector de semiconductores. Los píxeles de detectores de la matriz de píxeles están en comunicación eléctrica con un circuito de recuento de señales de píxeles individual dispuesto en un sustrato de lectura ASIC. Cada píxel de detector comprende un electrodo colector de píxeles y un contacto de píxeles asociado. El electrodo colector de píxeles recoge las cargas eléctricas generadas en el material fotoconductor del sustrato de detector. En combinación, los electrodos colectores de píxeles de los píxeles de detectores individuales de la matriz de píxeles de detectores agrupados cubren sustancialmente la superficie de píxeles de la célula de píxeles de detectores agrupados. El contacto de píxeles de cada píxel de detector está en comunicación con el circuito de recuento de píxeles individual de la célula de píxeles de detectores agrupados para conducir las cargas eléctricas fuera del detector de píxeles.

Cada célula de píxeles de detectores agrupados de la matriz GPC comprende un circuito de recuento de señales de píxeles individual procesado en la superficie de lectura del sustrato de lectura ASIC. El sustrato de lectura ASIC puede tener una pluralidad de circuitos de recuento de señales de píxeles dispuestos en su superficie de lectura, definiendo cada circuito de recuento de señales de píxeles el circuito de recuento de señales de píxeles individual de una célula de píxeles de detectores agrupados individual. Además, cada circuito de recuento de señales de píxeles tiene múltiples entradas de señales de píxeles procesadas en su superficie de lectura. Cada una de las entradas de señales de múltiples píxeles está en comunicación eléctrica con el circuito de recuento de señales de píxeles del sustrato de lectura ASIC, y con el contacto de píxeles de uno de los píxeles de detectores asociados de su célula de píxeles de detectores agrupados. El número de entradas de señales de píxeles en un circuito de recuento es suficiente para proporcionar una entrada de comunicación eléctrica al circuito de recuento para cada contacto de píxeles de detectores independiente del conjunto de píxeles de detectores agrupados con el que está asociado el circuito de recuento.

Cada una de las entradas de señales de múltiples píxeles de un circuito de recuento de señales de píxeles comprende un circuito de acondicionamiento de señal. Un circuito de acondicionamiento de señales de píxeles en sí mismo comprende uno o más circuitos auxiliares. La salida acondicionada del circuito de acondicionamiento de señales de píxeles se comunica a la circuitería del contador de pulsos del circuito de recuento de señales de píxeles. La circuitería del contador de pulsos también puede comprender uno o más circuitos auxiliares. Entre las circuiterías auxiliar practicable en la presente invención se incluyen: circuitería de amplificación de señal, circuitería de compensación de corriente, circuitería de control de amplitud de pulso, circuitería de control de ganancia, circuitería de conformación de pulsos, circuitería de comparadores de una sola etapa / múltiples etapas, circuitería de sumadores analógicos, circuitería de memorias intermedias y otra circuitería apropiada como se conoce y es practicable por el experto en la materia en la presente invención.

Los contactos de píxel dispuestos en cada electrodo de píxeles para conducir las cargas eléctricas fuera del detector de píxeles es un enlace de choque, y en un modo de realización preferido es un enlace de choque de soldadura. Uno de los beneficios y características de la presente invención se refiere al uso de enlaces de choque en dispositivos de formación de imágenes previos para unir mecánicamente los sustratos semiconductores entre sí para formar un laminado planar, así como para proporcionar conectividad eléctrica entre los sustratos. En tales dispositivos de formación de imágenes de radiación digital anteriores como se citó anteriormente, la relación de correspondencia entre el número de detectores de píxeles y circuitos de píxeles es 1 o menos; por lo tanto, la relación de correspondencia entre puntos de adhesión mecánica de enlace de choque y circuitos de píxeles también es de 1 o menos. En este caso, no puede haber más de un enlace de choque por circuito de píxeles para proporcionar un punto de adhesión mecánica en el dispositivo. Sin embargo, en la presente invención, la relación de correspondencia entre el número de

- 5 detectores de píxeles y los circuitos de píxeles es mayor que 1. Por lo tanto, la relación de correspondencia entre los puntos de adhesión mecánica de enlace de choque y los circuitos de píxeles también es mayor que 1. En la práctica, la relación de correspondencia es preferiblemente igual o mayor que 2. En la presente invención, hay más de un contacto de píxeles de unión de choque por circuito de píxeles para proporcionar puntos de adhesión mecánica en el dispositivo. En consecuencia, la relación de correspondencia del punto de adhesión de la presente invención es prácticamente dos o más veces la del dispositivo de la técnica anterior citado que tiene el mismo número de circuitos de píxeles. La relación de correspondencia del punto de adhesión más elevado proporciona un laminado de sustrato semiconductor de la presente invención con propiedades de adhesión incrementadas con relación a los dispositivos de la técnica anterior citados.
- 10 Además, para ciertas aplicaciones (como la medicina nuclear), sería ventajoso lograr alguna forma de protección o redundancia de señal, de modo que si se pierde el contacto de píxeles de detectores, el funcionamiento de la célula de píxeles asociada no se "extinguiría" por completo. En la presente célula de píxeles de detectores agrupados, si un detector de píxeles deja de funcionar, el (los) píxeles de detectores restante(s) de la matriz de píxeles de detectores agrupados puede(n) continuar proporcionando señal al circuito de píxeles asociado.
- 15 En la presente invención, el conjunto de GDPC comprende al menos una célula de píxeles de detectores agrupados, teniendo el GDPC al menos dos píxeles de detectores en comunicación eléctrica con un circuito de recuento de señales de píxeles individual. En otro modo de realización preferido, el GDPC comprende una matriz de píxeles de detectores que tiene al menos cuatro píxeles de detectores dispuestos sobre el sustrato de detector de semiconductores, estando los píxeles de detectores de la matriz de píxeles en comunicación eléctrica con un circuito de recuento de señales de píxeles individual dispuesto en el sustrato de lectura ASIC. Adicionalmente, cada célula de píxeles de detectores agrupados de la matriz GDPC comprende una matriz de píxeles de detectores que tiene un área planar de sus electrodos colectores combinados dispuestos en el sustrato de detector de semiconductores con un área de recogida de carga efectiva que es sustancialmente tan grande como el área planar de la circuito de recuento de señales de píxeles individual dispuesto en el sustrato de lectura ASIC.
- 20
- 25 **Breve descripción de los dibujos**
- La figura 1A es una representación de vista lateral esquemática de una sección de un dispositivo de formación de imágenes de radiación de semiconductores de tipo SBBASIC de la técnica anterior en el que cada circuito de píxeles está asociado a un píxel de detector individual y viceversa, ilustrando un dispositivo de formación de imágenes que tiene una Relación de Correspondencia entre el número de detectores de píxeles y circuitos de píxeles de 1.
- 30 La figura 1B es una representación esquemática alternativa de una vista lateral de una sección de un dispositivo de formación de imágenes de radiación de semiconductores de tipo SBBASIC de la técnica anterior.
- La figura 2 es una representación esquemática de una vista lateral de una sección de un dispositivo de formación de imágenes de radiación de semiconductores de tipo SBBASIC de la técnica anterior en la que cada circuito de píxeles está asociado a un píxel de detector individual, pero cada píxel de detector está asociado a más de un circuito de píxeles, ilustrando un dispositivo de formación de imágenes que tiene una relación de correspondencia entre el número de detectores de píxeles y los circuitos de píxeles de <1.
- 35
- La figura 3A es una representación esquemática de bloques de una matriz de células de píxeles de detectores agrupados (matriz GDPC) de la presente invención que ilustra células de píxeles de detectores agrupados individuales y su matriz interna de detectores de píxeles asociados.
- 40 La figura 3B es una representación de vista lateral esquemática de una sección de una matriz de células de píxeles de detectores agrupados de tipo SBBASIC (matriz GDPC) de la Fig. 3A que muestra que dentro de una única célula de píxeles, cada detector de píxeles se comunica eléctricamente con un circuito recuento de señales de píxeles individual, pero el circuito de recuento de píxeles individual de la célula de píxeles se comunica eléctricamente con todos los píxeles de detectores en la célula, ilustrando un dispositivo de formación de imágenes que tiene una Relación de Correspondencia (RC) entre el número de detectores de píxeles y los circuitos de píxeles en una sola célula de píxeles es  $RC = 4$ .
- 45
- La figura 4 es una representación de vista lateral esquemática de una matriz de células de píxeles de detectores agrupados de la presente invención, que ilustra la configuración del laminado de los sustratos semiconductores.
- La figura 5 es un diagrama de bloques esquemático del circuito de recuento de señales de píxeles de la presente invención, que ilustra las entradas de señales de múltiples píxeles (dos en el caso mostrado) y sus circuitos de acondicionamiento de señales asociados que se comunican con un circuito de contador de pulsos individual.
- 50
- La figura 6 es un diagrama de bloques esquemático del circuito de recuento de señales de píxeles de la presente invención similar a la Fig. 5, pero que ilustra un modo de realización alternativo del circuito de contador de pulsos individual.
- 55 La figura 7 es un diagrama de bloques esquemático del circuito de recuento de señales de píxeles de la presente invención, que ilustra múltiples entradas de señales de píxeles (dos en el caso mostrado) y sus circuitos de

acondicionamiento de señales asociados que se comunican con un modo de realización alternativo del circuito de contador de pulsos individual.

### Descripción detallada del invento

5 Con referencia ahora a los dibujos, los detalles de los modos realización preferidos de la presente invención se ilustran de forma gráfica y esquemática. Los mismos elementos en los dibujos están representados por los mismos números , y cualquier elemento similar está representado por los mismos números con un sufijo de letra minúscula diferente.

10 Como se ejemplifica en las Figs. 3A y 3B, un dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos x y rayos gamma de tipo SBBASIC **100** de la presente invención comprende un conjunto de una pluralidad de células de píxeles de detectores agrupados (GDPC) **105**. La Fig. 3A ilustra un ejemplo de una matriz de células de píxeles de detectores agrupados (matriz GDPC) **100** de la presente invención que tiene seis GDPC **105** independientes etiquetadas de **A** a **F**, y con cada una de los GDPCs individuales que tiene una matriz de detectores interna de píxeles de detectores asociados **110**. Por supuesto, en la práctica, una matriz GDPC **100** de puede comprender cualquier número de GDPC individuales según lo permita la tecnología de semiconductores actual o futura aplicable. La Fig. 3B es una representación esquemática de una sección de una matriz GDPC **100** que muestra que dentro de una única célula de píxeles **105**, cada uno de los píxeles de detectores "agrupados" **110** se comunica eléctricamente con el circuito de recuento de señales de píxeles individual **130** en el GDPC **105**. Sin embargo, el circuito de recuento de píxeles individual **130** del GDPC **105** se comunica eléctricamente con todos los píxeles de detectores **110** en la célula **105**, y no en otros. Esto ilustra el objeto de la presente invención que el presente GDPC **105** tiene una "Relación de Correspondencia" (RC) entre el número de detectores de píxeles **105** y el circuito de píxeles en un solo GDPC **105** de más de uno ( $> 1$ ). En el ejemplo ilustrado en la las Figs. 3A y 3B, la relación de correspondencia es  $RC = 4$ .

25 En el modo de realización preferido ejemplificado en la Fig. 4, el presente dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma comprende una matriz **100** de células de píxeles de detectores agrupados **105**. Cada GDPC **105** comprende una matriz de al menos dos píxeles de detectores **110** dispuestos en un sustrato de detector de semiconductores **112**. El espesor del sustrato de detector de semiconductores está compuesto por un material fotoconductor **114**. Cada uno de los píxeles de detectores **110** está en comunicación eléctrica con el circuito de recuento de señales de píxeles individual **130** del GDPC **105**. El circuito de recuento de señales de píxeles **130** está dispuesto en el sustrato de lectura de semiconductores ASIC **132**. El electrodo colector de carga de píxeles **116** de un píxel de detector **110** recoge las cargas eléctricas generadas en su proximidad en el material fotoconductor **114**. Las cargas generadas se hacen salir del píxel de detector **110** a través de su electrodo colector de píxeles **116** hacia la entrada del circuito de píxeles **134** a través de un contacto de píxeles eléctricamente conductor **118** dispuesto entre y en comunicación eléctrica con el electrodo colector **116** y la entrada del circuito de píxeles **134**.

35 El sustrato de detector de semiconductores **112** tiene dos superficies principales: una superficie de radiación **120** y una superficie de píxeles **122**. Los electrodos colectores de carga **116** de los píxeles de detectores dispuestos en matriz **110** se procesan sobre la superficie de píxeles **122** del sustrato de detector **112** usando técnicas de semiconductores conocidas en la técnica. El sustrato de detector **112** tiene típicamente un electrodo de polarización **124** dispuesto en su superficie de radiación **120**. El electrodo de polarización **124** es transparente a la radiación incidente. En combinación con cada electrodo colector de carga **116**, el electrodo de polarización **124** genera un campo de polarización eléctrica a través del espesor del sustrato de detector **112** de manera que las cargas generadas en el material fotoconductor **114** se desvíen hacia la superficie de píxeles **122**. Aunque los electrodos colectores **116** están espaciados y/o aislados entre sí, el campo de polarización eléctrica de un detector de píxeles **110** se extiende más allá del perímetro de su electrodo colector de carga **116**, dando así al GDPC **105** una superficie de recogida de carga efectiva al menos tan grande como el área de la superficie de píxeles **122** del GDPC **105**.

45 Como también se ejemplifica en la Fig. 4, cada uno de los GDPC **105** de la presente invención comprende un sustrato de lectura ASIC de semiconductor **132**. En el modo de realización preferido de la presente invención como una matriz GDPC **100**, en la que yuxtaponen múltiples GDPC independientes en una matriz planar, el sustrato de lectura de semiconductor **132** (y el sustrato de detector **112**) de GDPC adyacentes es continuo a lo largo de la matriz de GDPC **100**. Además, múltiples matrices GDPC pueden yuxtaponerse para construir un dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos gamma y rayos X de gran formato que comprende una pluralidad de células de píxeles de detectores agrupados.

50 El circuito de recuento de señales de píxeles individual **130** de los GDPC **105** independientes se procesa en una matriz de circuito en el sustrato de lectura ASIC de semiconductor **132**. El sustrato de lectura ASIC **132** tiene una superficie de lectura **136** dispuesta frente a la superficie de píxeles **122** del sustrato de detector **112**. El circuito de recuento de señales de píxeles individual **130** de un GDPC **105** tiene múltiples entradas de señales de píxeles **134** procesadas en la superficie de lectura **136** del sustrato de lectura ASIC **132** del GDPC **105**. Las múltiples entradas de señales de píxeles **134** son los contactos de entrada en comunicación eléctrica con el circuito de recuento de señales de píxeles **130** del GDPC **105**; cada entrada de señales de píxeles **134** está en comunicación eléctrica con un contacto de píxeles de detectores independiente **118** de los píxeles detector dispuestos en matriz **110**.

Además, como se muestra en las Figs. 5 y 6, cada una de las entradas de señales de píxeles **134** del circuito de recuento de señales de píxeles **130** comprende un circuito de acondicionamiento de señales de píxeles **140**. Un circuito

de acondicionamiento de señal **140** puede comprender además uno o más circuitos de acondicionamiento/procesamiento de señal auxiliar **144**. Entre los ejemplos de tales circuiterías de acondicionamiento/procesamiento de señales auxiliares **144** se incluyen: circuitería de amplificación de señales, circuitería de compensación de corriente oscura, circuitería de control de ancho de pulso, circuitería de control de ganancia, circuitería de conformación de pulsos, circuitería comparadora de una sola etapa / múltiples etapas, circuitería de sumadores analógicos, circuitería de memorias intermedias y otra circuitería auxiliar conocida y factible en la presente invención por un experto en la materia.

Como se ejemplifica en la Fig. 5, cada uno de dos (o más) píxeles de detectores **110**, simbolizados por **P1** y **P2**, está conectado conductivamente a su propio circuito de acondicionamiento de señal **140** a través del contacto de píxeles de tipo de enlace de choque **118** (véase la Fig. 4). Cada circuito de acondicionamiento de señal **140** incluye circuitería de acondicionamiento auxiliar **144**: etapas de amplificación **144a** y **144b**, por ejemplo, para integrar y/o amplificar señales eléctricas entrantes. La salida acondicionada **148** de cada circuito de acondicionamiento de señal **140** del circuito de recuento de señales de píxeles **130** está en comunicación eléctrica con un circuito de contador de pulsos **150**. En el ejemplo ilustrado en la Fig. 5, la salida acondicionada **148** de cada circuito de acondicionamiento de señal **140** se alimenta a una etapa de comparador de múltiples entradas auxiliar **144c** de la circuitería de contador de pulsos **150**. La etapa comparadora de múltiples entradas **144c** compara una señal analógica entrante con un umbral de salida antes de que la señal entrante pueda emitirse desde la circuitería de etapa de comparador auxiliar **144c** al contador **160** de pulsos.

El amplificador de carga **144a** puede ser, con mucho, la limitación más significativa en la velocidad global de procesamiento de la señal en los dispositivos actuales de formación de imágenes sobre el terreno. Aumentando el número de píxeles de detectores por área de formación de imágenes unitaria (es decir, aumentando el valor de RC), con cada circuito de acondicionamiento de señal **140** para cada píxel de detector **110** que tiene su propio amplificador de carga **A1 144a**, la velocidad de procesamiento de señal de GDPC **105** aumenta sustancialmente. Esto permite que el GDPC **105** maneje velocidades de impactos de entrada relativamente altas. Además, los amplificadores de primera y segunda etapa **A1 144a** y **A2 144b** (y otras etapas de circuitería) pueden incluir circuitería de compensación de corriente oscura del detector, circuitería de control de anchura de pulsos de entrada, circuitería de conformación de pulsos, circuitería de control de ganancia, etc. Duplicando así la parte de procesamiento de señales analógicas del circuito de recuento de señales de píxeles **130**, la velocidad de radiación de entrada y la velocidad de procesamiento de señal global del presente GDPC **105** se incrementa.

Como ejemplo práctico de cómo puede lograrse la presente invención, si el área de formación de imágenes de un dispositivo de formación de imágenes de recuento de fotones/pulsos de la técnica anterior es de 2 cm x 2 cm y el tamaño de píxel de detector es de 0,5 mm x 0,5 mm, entonces hay 1600 células de píxeles de imagen en el dispositivo. De acuerdo con la presente invención, si el área de superficie de píxeles de detectores (el área del electrodo del colector de carga del píxel) de los píxeles de detectores del dispositivo está subdividida por al menos un factor de dos, esto produce (en este ejemplo) píxeles de detectores con dimensiones de aproximadamente 0,25 mm x 0,5 mm, y píxeles de detectores del doble del número (o 3200). El número de circuitos de recuento de señales de píxeles se mantiene en 1600. Sin embargo, la célula de píxeles tendrá ahora, en la presente invención, dos enlaces de choque, cada uno de los cuales conecta los dos píxeles de detectores de la célula de píxeles a un conjunto de dos entradas al circuito de recuento de señales de píxeles individual de la célula de píxel. Como resultado, para tener el mismo tamaño global que un dispositivo de formación de imágenes de la técnica anterior, el dispositivo de formación de imágenes a modo de ejemplo de la presente invención tiene: el doble de enlaces de choque, pero el mismo número de circuitos de recuento. Es evidente que esto es meramente un ejemplo y se puede elegir la división del tamaño de célula del píxel de detector para que corresponda a un valor deseado sin aumentar el número de canales de lectura. Además, debido al tamaño reducido del píxel de detector, la capacitancia del nodo de entrada se reduce en consecuencia, lo cual se traduce en un menor ruido en la entrada del circuito de recuento.

Aún más, la mayor cantidad de enlaces de choque en el dispositivo de formación de imágenes a modo de ejemplo da como resultado un aumento concomitante en la adhesión mecánica entre las capas de sustrato semiconductor con respecto a un dispositivo de formación de imágenes analógico de la técnica anterior.

La Fig. 6 ejemplifica un modo de realización alternativo del circuito de contador de pulsos **150** del presente GDPC **105**. En este modo de realización preferido, las salidas de señal acondicionada **148** de los circuitos de acondicionamiento de señal **140** se comunican con la circuitería de sumador analógico de múltiples entradas auxiliares **144d**. La circuitería de sumador analógico de múltiples entradas **144d** suma las señales de salida de los dos circuitos de acondicionamiento de señales **140** antes de su procesamiento en la circuitería de comparador **144e**. De esta forma, si el impacto de radiación de entrada cae entre dos píxeles de detectores **110** y la carga se comparte entre los dos electrodos colectores de píxeles de detectores **116** (véase la Fig. 4), la amplitud de pulso original se recupera sumando las señales de salida de los dos circuitos de acondicionamiento de señal **140**.

La Fig. 7 ejemplifica otro modo de realización preferido del GDPC **105**. Dos píxeles de detectores **110 (P1 y P2)** están conectados a circuitos de entrada de píxeles independientes **140**. La salida de señales de píxeles acondicionada **148** de cada circuito de entrada de píxel **140** se comunica con su propia circuitería de memorias intermedias auxiliar **144f**. Las salidas de memorias intermedias **149** se comunican con un circuito comparador de etapas múltiples auxiliar **144g**, teniendo cada etapa de la circuitería comparadora **144g** una tensión umbral de entrada diferente  $V_{th1}$ ,  $V_{th2}$ ,  $V_{th3}$  y

Vth4 para cada etapa. Las salidas de los comparadores de los dos circuitos de entrada de píxeles **140** con la misma tensión de umbral se comunican a continuación con un contador común **160a-d** del circuito de recuento de pulsos **150**.

5 Básicamente, la Fig. 7 ilustra un ejemplo de un circuito de recuento de píxeles **130** de un GDPC **105**, donde los circuitos de acondicionamiento de señales de píxeles **140**, más la circuitería de acondicionamiento/procesamiento de señal auxiliar **144** y la circuitería de contador de pulsos de múltiples etapas común **150** juntos comprenden un circuito de recuento de señales de píxeles individual **130**, que corresponde a los dos píxeles de detectores diferentes **110 P1** y **P2**.

10 El dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma **100** de la presente invención tiene un GDPC **105** que comprende una matriz de píxeles de detectores **110** que tiene un área planar combinada de los electrodos colectores de píxeles de detectores **116** dispuestos en el sustrato de detector de semiconductores **112**, siendo dicha área planar al menos aproximadamente tan grande como el área planar del circuito de recuento de señales de píxeles individual **130** dispuesto en el sustrato de lectura ASIC **134**. Los GDPC tienen una relación de correspondencia del número de detectores de píxeles con respecto a los circuitos de recuento de señales de píxeles de  $RC \geq 2$ , y el dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación global **100** tiene una relación de correspondencia de  $RC > 1$ .

15 Si bien la descripción anterior contiene muchos detalles, estos no deben interpretarse como limitaciones del alcance de la invención, sino más bien como ejemplificaciones de una u otro modo de realización preferido de la misma. Son posibles muchas otras variaciones, que serían obvias para un experto en la técnica. Por consiguiente, el alcance de la invención debe determinarse mediante el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Una célula de píxeles de detectores agrupados (105) para su uso en un dispositivo de formación de imágenes digitales de radiación de alta energía (100), dispuestos en estrecha proximidad con otra célula de píxeles de detectores en una estructura laminada formada por dos sustratos semiconductores: un sustrato de detector/fotoconductor (112) y un sustrato de recuento/lectura (132), en el que la célula de píxeles de detectores agrupados (105) comprende una matriz de píxeles de detectores de múltiples píxeles de detectores (110) dispuestos de forma próxima en un sustrato de detector semiconductor, en el que cada píxel de detector está en comunicación eléctrica con un circuito de recuento de señales de píxeles individual (130), estando el circuito de recuento de señales de píxeles dispuesto en un sustrato de lectura de semiconductor adyacente al sustrato de detector de semiconductores.
2. Una célula de píxeles de detectores agrupados según la reivindicación 1, en la que la relación de correspondencia entre el número de detectores de píxeles y el número de circuitos de recuento de señales de píxeles es al menos 2.
3. Un dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma que comprende al menos una célula de píxeles de detectores agrupados según la reivindicación 1 o 2.
4. Un dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma de acuerdo con la reivindicación 3, que comprende una pluralidad de células de píxeles de detectores agrupados dispuestas en estrecha proximidad entre sí.
5. El dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma según la reivindicación 4, en el que la matriz de píxeles de detectores comprende una pluralidad de píxeles de detectores procesados en el sustrato de detector, teniendo el sustrato de detector una superficie de radiación y una superficie de píxeles en la cual están dispuestos los píxeles de detectores y combinadas cubren sustancialmente la superficie de píxeles, comprendiendo además cada detector de píxeles un electrodo colector de píxeles y un contacto de píxeles asociado, con el electrodo colector de píxeles para recoger cargas eléctricas generadas en el sustrato de detector de semiconductores, y el contacto de píxeles en comunicación con el circuito de recuento de píxeles individual para conducir las cargas eléctricas fuera del detector de píxeles.
6. El dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma según la reivindicación 4, en el que la pluralidad de células de píxeles de detectores agrupados comprende una pluralidad de circuitos de recuento de señales de píxeles procesados en una matriz de circuitos sobre el sustrato de lectura, teniendo el sustrato de lectura una superficie de lectura dispuesta frente a una superficie de píxeles del sustrato de detector, teniendo cada célula de píxeles un circuito de recuento de señales de píxeles individual con múltiples entradas de señales de píxeles procesadas en la superficie de lectura de la célula de píxel, estando las entradas de señales de múltiples píxeles en comunicación eléctrica con el circuito de recuento de señales de píxeles del sustrato de lectura.
7. El dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma según la reivindicación 6, en el que el circuito de recuento de señales de píxeles tiene múltiples entradas de señales de píxeles, estando cada entrada de señales de píxeles en comunicación eléctrica con un contacto de píxeles de detector independiente de la matriz de píxeles de detectores.
8. El dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma de la reivindicación 7, en el que cada una de las múltiples entradas de señales de píxeles comprende un circuito de acondicionamiento de señales de píxeles.
9. El dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma según la reivindicación 7, en el que cada una de las entradas de señales de múltiples píxeles comprende un circuito de acondicionamiento de señales de píxeles que tiene al menos un circuito de acondicionamiento auxiliar seleccionado del grupo que consiste en circuitería de amplificación de señal, circuitería de compensación de corriente oscura, circuitería de control de ancho de pulso, circuitería de control de ganancia, circuitería de conformación de pulsos, circuitería de comparador, circuitería de sumador analógico y circuitería de memorias intermedias.
10. El dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma de la reivindicación 5, en el que el contacto de píxeles dispuesto en cada electrodo de píxeles para conducir las cargas eléctricas fuera del detector de píxeles es un enlace de choque.
11. El dispositivo de obtención de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma según la reivindicación 5, en el que el contacto de píxeles dispuesto en cada electrodo de píxeles para conducir las cargas eléctricas fuera del detector de píxeles es un enlace de choque de soldadura.
12. El dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma según la reivindicación 4, en el que una célula de píxeles de detectores agrupados comprende una matriz de píxeles de detectores que tiene al menos cuatro píxeles de detectores dispuestos en el sustrato de detector de semiconductores, estando los píxeles de detectores de la matriz de píxeles en comunicación eléctrica con un circuito de recuento de señales de píxeles individual dispuesto en el sustrato de lectura.

13. El dispositivo de formación de imágenes de energía de radiación de rayos X y rayos gamma según la reivindicación 4, en el que una célula de píxeles de detectores agrupados comprende una matriz de píxeles de detectores que tiene un área planar combinada de los electrodos colectores de píxeles de detectores dispuestos en el sustrato de detector de semiconductores, siendo dicha área planar tan grande como un área planar del circuito de recuento de señales de píxeles individual dispuesto en el sustrato de lectura.
- 5

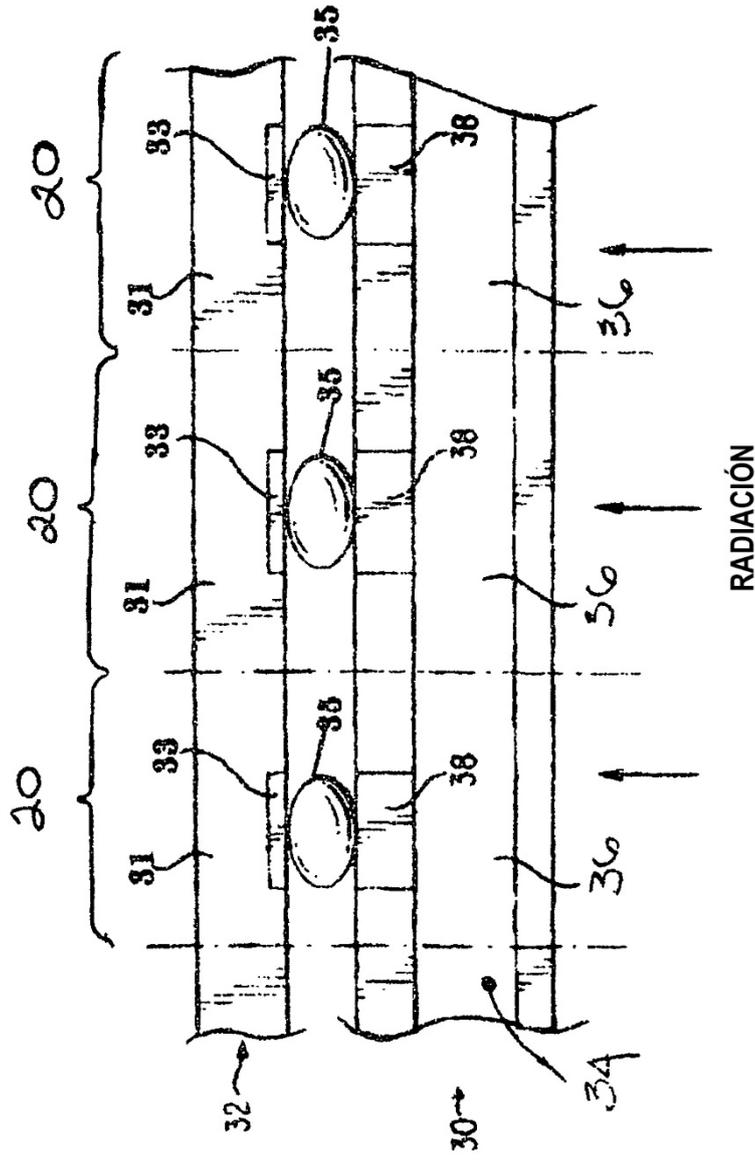


FIG. 1A

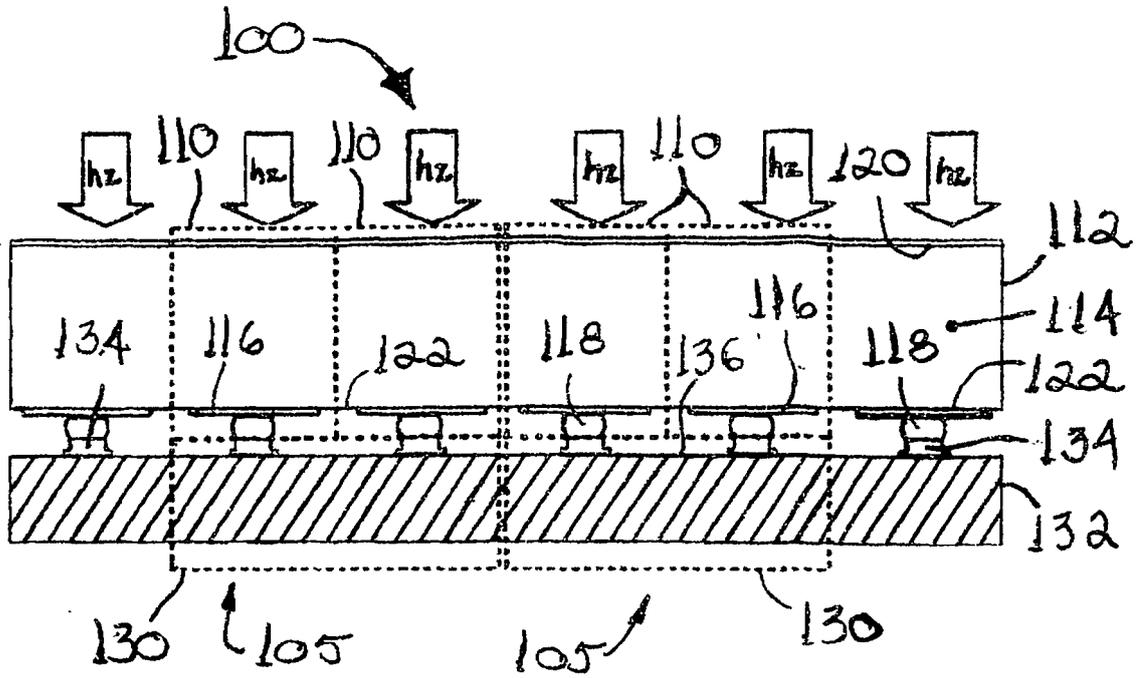


Fig. 4

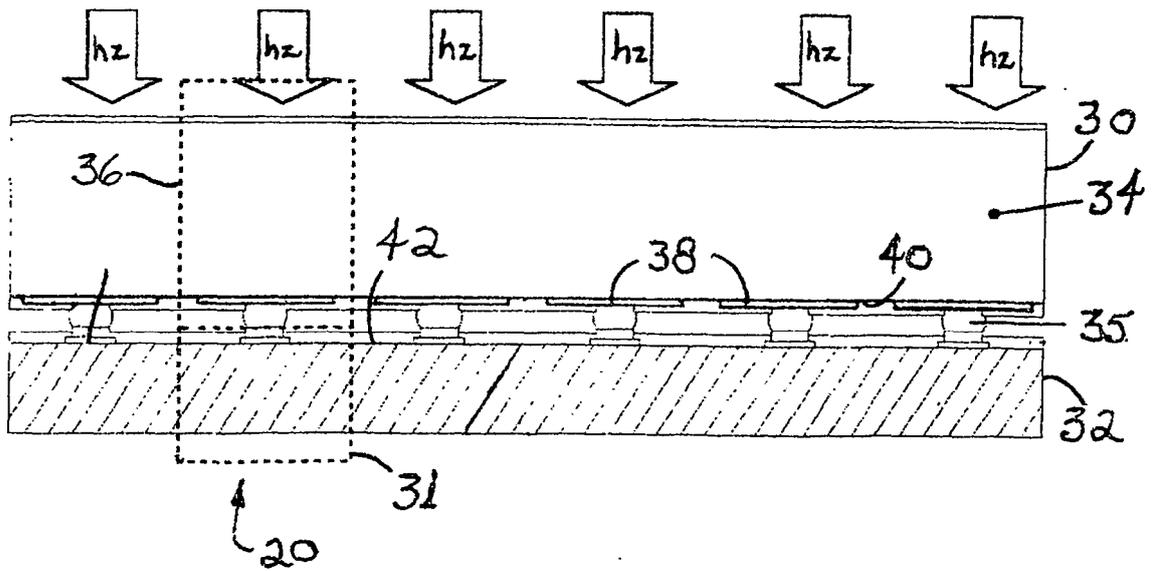


FIG. 1B

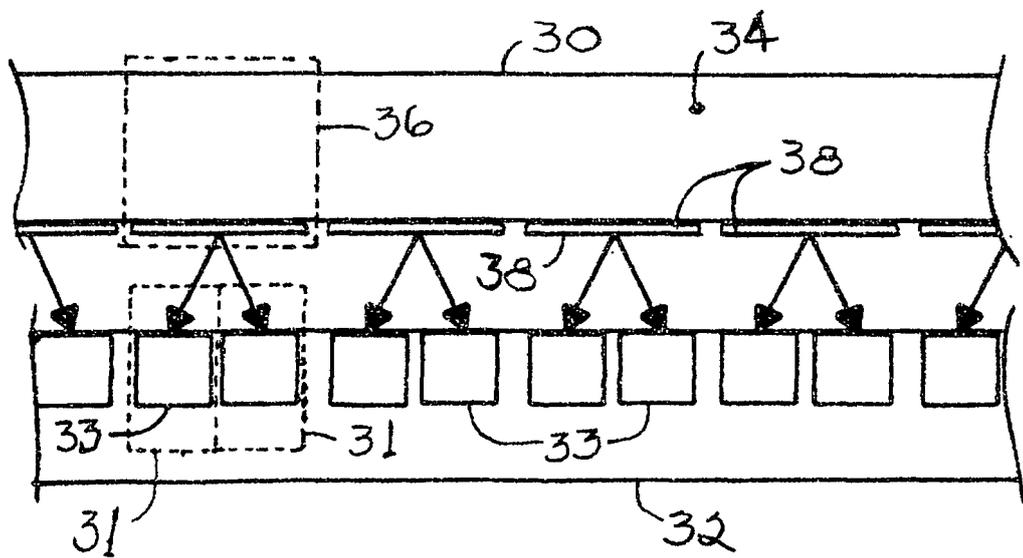


Fig. 2

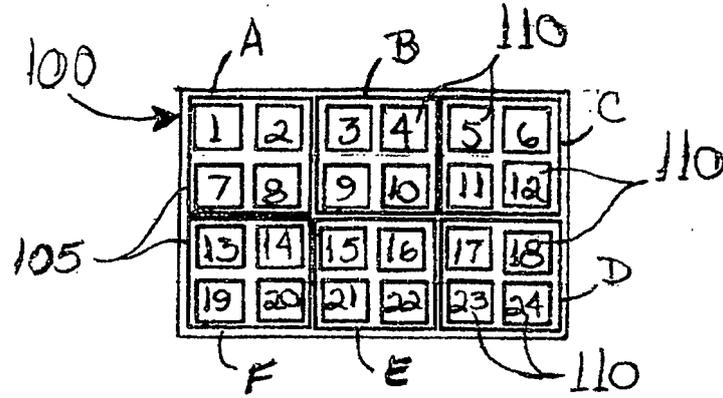


Fig. 3A

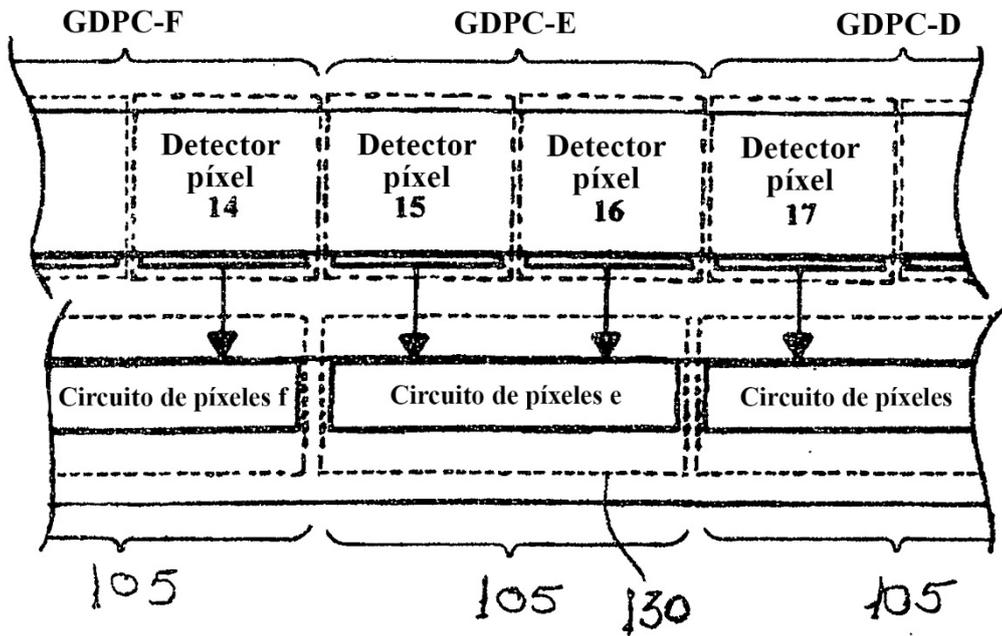


Fig. 3B

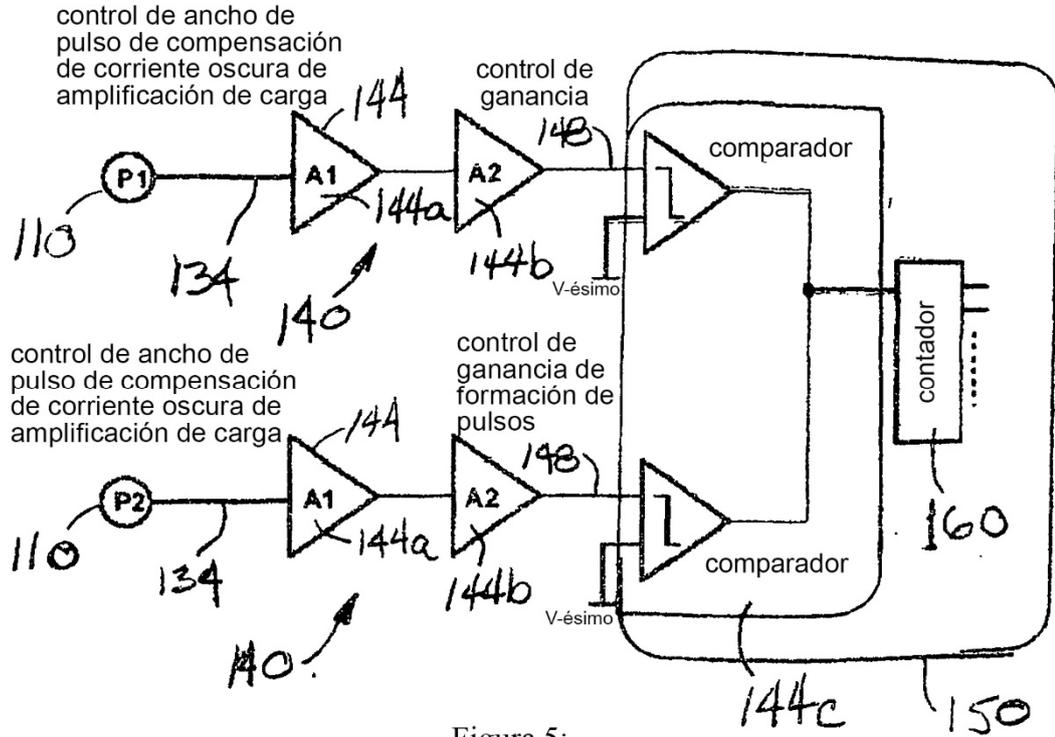


Figura 5:

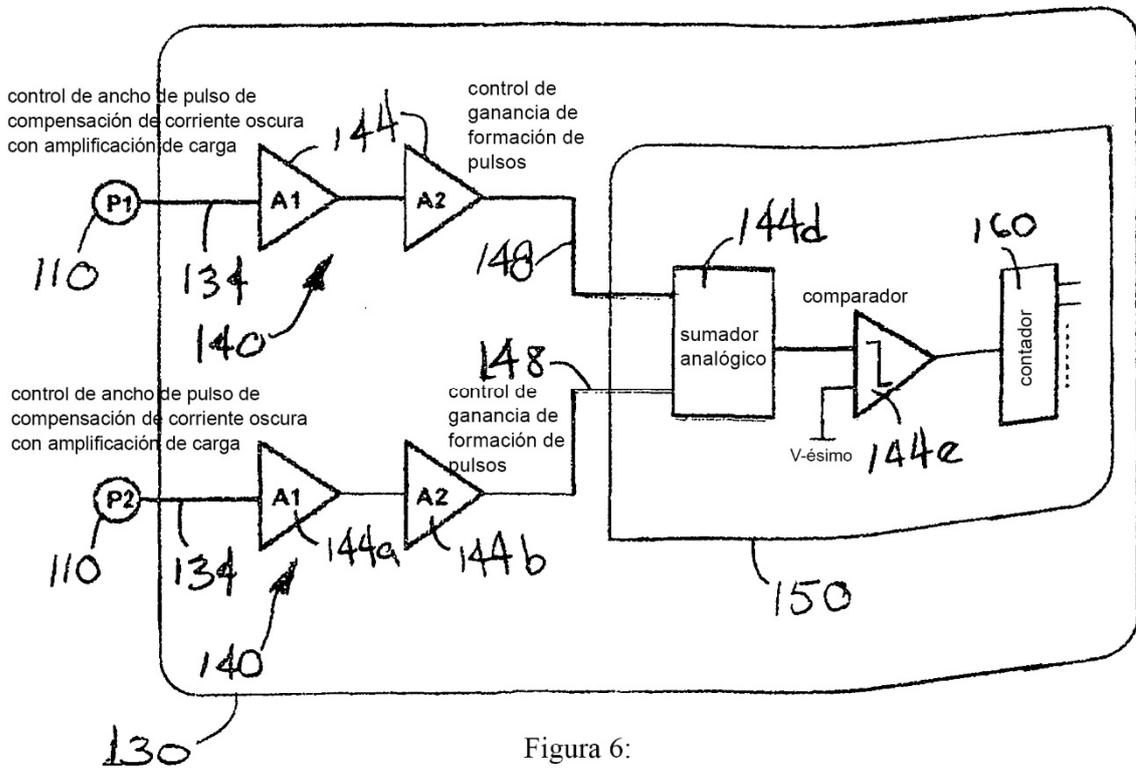


Figura 6:

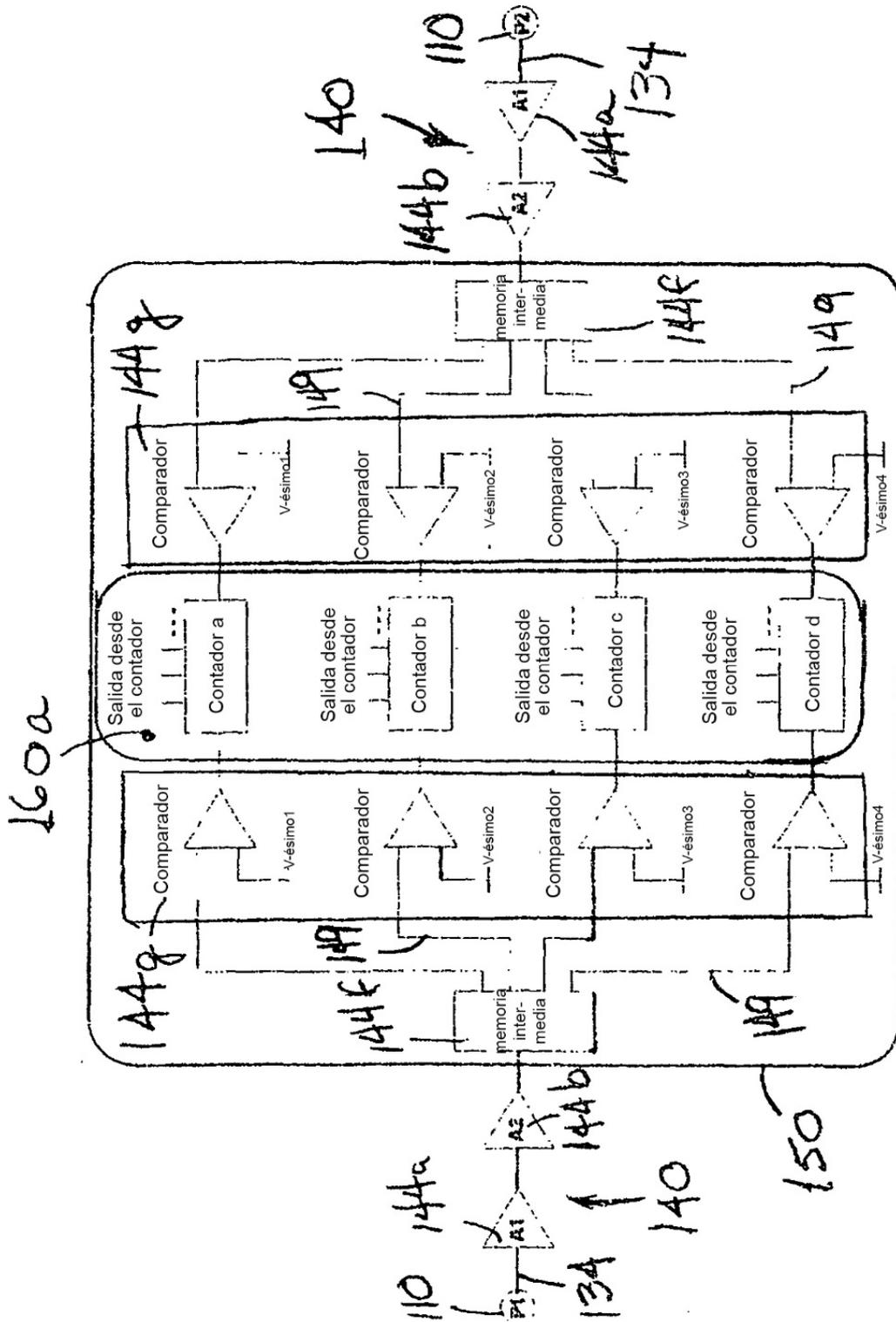


Figura 7