(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 327 835**

(51) Int. Cl.:
H01L 31/115 (2006.01)
H01L 27/146 (2006.01)
G01T 1/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Número de solicitud europea: **03815050 .4**
(96) Fecha de presentación : **11.08.2003**
(97) Número de publicación de la solicitud: **1581971**
(97) Fecha de publicación de la solicitud: **05.10.2005**

(54) Título: **Dispositivo de imágenes de recuento de fotones.**

(30) Prioridad: **10.01.2003 EP 03000359**
10.01.2003 EP 03000358
21.01.2003 EP 03001143

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.11.2009

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.11.2009

(73) Titular/es: **PAUL SCHERRER INSTITUT**
5232 Villigen PSI, CH

(72) Inventor/es: **Brönnimann, Christian y**
Schmitt, Bernd

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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).

Venta de fascículos: Oficina Española de Patentes y Marcas. Pº de la Castellana, 75 – 28071 Madrid

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de imágenes de recuento de fotones.

La invención relata un dispositivo de imágenes de recuento de fotones para el recuento único de rayos X. Además, la invención se refiere a un dispositivo de imágenes de recuento de fotones con una región rápida de evaluación de los datos de interés.

Las figuras de difracción por rayos X son útiles en el análisis de estructuras moleculares, tales como las moléculas de proteína y de virus, y requieren un dispositivo de imágenes de recuento de fotones. Sobre todo, la cristalografía de la proteína y del virus impone exigencias rigurosas a los detectores de rayo X, en particular donde la fuente de rayo X es una radiación sincrotrónica de flujo elevado que permite que un experimento se haga rápidamente. Además, un campo importante y de desarrollo son los experimentos de difracción de resolución temporal que usan la radiación sincotrónica, como la cristalografía y/o el análisis de difracción del polvo. La supervisión de una reacción dependiente del tiempo en una muestra, es decir un cristal o un polvo, puede aclarar los cambios dependientes del tiempo de cristal/moleculares que ocurren también en una reacción química. La velocidad de resolución en un tiempo alto es a menudo crítica en tal supervisión.

En la literatura, un detector cristalográfico de velocidad alta se menciona por la patente americana 5,629, 524, el documento US 5, 574, 284 revela un detector de rayos X de resolución de energía y un sensor de imagen de estado sólido con un array de plano focal digital de recuento de fotones de píxel se divulga por la patente americana 5, 665, 959. La última patente describe e ilustra un array de plano focal que comprende un array NxN de diodos fotodetectores conectados a los medios de recuento de fotones digital para la detección de luz de imagen de nivel muy bajo y a los medios de lectura digital del píxel de imagen para cada píxel que comprende el amplificador de memoria intermedia separado CMOS que tienen las siguientes características: baja potencia (<1 μW por promedio del píxel) conversión de la carga de fotoelectrones alta a la tensión de beneficio ($\approx$1 mV/e), bajo ruido (< 1 e), paso microcelular (<30 μm), fácil escalabilidad (hasta 10 μm), capacidad propia de polarización, uniformidad suficiente de ganancia (~10%) para la discriminación de casos múltiple, y programabilidad de la corriente de polarización. Cualquier incidente del fotón durante el período de muestreo genera un fotoelectrón en la salida del detector de diodo conectado a la entrada del amplificador. Ese fotoelectrón cambia el potencial de la capacidad de entrada del amplificador de memoria intermedia. Este cambio del potencial hace al amplificador de memoria intermedia de ganancia elevada presentar un cambio de potencia suficientemente grande en la salida del amplificador para estar sobre el nivel de ruido del sistema.

La desventaja de este descubrimiento radica substancialmente en el diseño de este dispositivo de recuento de fotones que se dedica a detectar con brillante sensibilidad un único fotón que tiene su energía en la gama de la luz visible (varios eV). Este dispositivo se puede utilizar por lo tanto para prismáticos infrarrojos o para telescopios y espectrómetros espaciales. La circuitería electrónica es por lo tanto tan sensible que un incidente de un fotón se amplifica para saturar la memoria intermedia del amplificador. Un incidente adicional de un fotón, que ocurre en el mismo diodo fotodetector, dentro del mismo período de muestreo que el primer incidente de fotón no se puede detectar por lo tanto a no ser que se reinicie la memoria intermedia. Este dispositivo detector de fotones es por lo tanto totalmente inútil para los propósitos antedichos de detección de fotón de rayos x.

Sin embargo, el diseño general del chip semiconductor es preferentemente un híbrido que usa un material semiconductor separado por dos chips seleccionados para ser óptimos para el tipo fotovoltaico del detector de diodos en un chip y el amplificador de memoria intermedia y el circuito de la multiplexación en el otro chip, bump bonded al primero para hacer conexiones entre el interfaz de salida del detector de diodos sobre un chip y el interfaz de entrada del amplificador de memoria intermedia sobre el otro chip, con el amplificador de memoria intermedia de diodos fotodetectores en un chip semiconductor y el medio de multiplexación y de recuento digital sobre el segundo chip semiconductor bump bonded al primero. Como se revela en la patente americana 5,629, 524 un material conveniente para la conexión eléctrica bump es el Indio. Pero incluso este dispositivo para la detección del fotón de rayos x no se puede utilizar en la alta investigación dinámica puesto que el trazado del circuito electrónico es limitado debido al tiempo muerto de la conmutación que se requiere para integrar la carga de los electrones de foto posteriormente a una cadena de condensadores (referente a un registro de desplazamiento de M-bit) que tienen que leerse luego en serie debido a su dispositivo de tipo en cadena. Se podría entender fácilmente que el funcionamiento de este circuito está limitado a sus intervalos de conmutación para la carga y el escaneado de los condensadores.

Otro documento del estado anterior de la técnica que merece ser mencionado es la patente americana No. 5, 812, 191 que divulga un dispositivo de imágenes semiconductor de gran energía de radiación del que tiene una array de células de píxel incluyendo un sustrato del detector semiconductor y un sustrato de lectura semiconductor. El sustrato del detector semiconductor incluye un array de células de detector de píxel, cada una de las cuales directamente genera la carga en respuesta al incidente de radiación de energía alta. El sustrato semiconductor de lectura incluye una array de circuitos individuales direccionables del píxel, que está conectado a la célula correspondiente del detector del píxel para formar una célula del píxel. Cada circuito del píxel incluye la circuitería de acumulación de carga para acumular la carga que resulta directamente del incidente de radiación de alta energía en una célula correspondiente del detector de píxel, el circuito de la lectura para leer la carga acumulada, y el circuito de reiniciación para la reinicialización de la circuitería de acumulación de carga. Desafortunadamente, la carga acumulada se memoriza como dato analógico usando una circuitería que tiene dos transistores, un transistor que actúa como memoria de carga mientras que la otra actúa como un interruptor de lectura receptivo a una señal de activar. Este diseño restringe la circuitería para permitir

el direccionamiento individual de cada píxel pero solo descarga la carga analógica acumulada a una línea de salida cuando se activa por su respectiva señal de activar. Esta circuitería no permite otra manipulación de las células de detector del píxel.

Otro dispositivo de imágenes para radiación de imágenes según la aplicación de la patente internacional WO 98/16853 incluye un array de células de imágenes. El array de células de imágenes incluye un array de células detectoras que generan una carga en respuesta a la radiación instantánea y un array de circuito de células de imágenes. Cada circuito de células de imágenes se asocia con su respectiva célula detectora. El circuito de célula de imágenes incluye una circuitería de recuento para contar las diversas emisiones de radiación que inciden en la célula detectora o se asocien con ella. Preferentemente, el circuito de células de imágenes incluye una circuitería de umbral conectada para recibir las señales generadas en la célula detectora asociada y que tiene valores que dependen de la energía de radiación incidente. El circuito de recuento entonces se conecta a la circuitería de umbral para contar solo las emisiones de radiación dentro de una gama o gamas predeterminadas de energía. La circuitería de lectura electrónica se diseña para abarcar un registro de desplazamiento cargable que memoriza los datos en serie en una fila lo que significa que los datos de entrada son los datos del píxel anterior y a la salida entrega los datos reales al siguiente píxel. La desventaja principal de esta disposición consiste en la susceptibilidad al fracaso de una fila completa del array detector si sólo falla una circuitería de lectura en una fila.

Además, usando la difracción de rayos x para el análisis de la estructura cristalográfica de una muestra, un procedimiento de medición rápido y fidedigno requiere un array detector comparablemente grande para cubrir un área espacial suficientemente grande. Es evidente del equipo electrónico requerido que un número cada vez mayor de array detectores se siga por un número cada vez mayor de equipos electrónicos y/o de un procedimiento de evaluación prolongado.

Reasumiendo de los documentos según estado anterior de la técnica es evidente que ninguno de los documentos revela un dispositivo de imágenes de recuento de fotones que permiten un rendimiento alto de lectura y una funcionalidad superior de la operación.

Por lo tanto, es objetivo de la invención aumentar el funcionamiento y la fiabilidad de un dispositivo de recuento de imágenes de fotón completo.

Este objetivo se alcanza según la invención por un dispositivo de recuento de imágenes de fotones para un recuento único de rayo X que comprende:

a) una capa de material fotosensible;

b) una fuente de potencial de polarización;

c) una fuente para el suministro de la tensión de umbral;

d) un array NxM de diodos fotodetectores dispuestos en dicha capa de material fotosensible; cada uno de dichos diodos fotodetectores tienen un interfaz de potencial de polarización y un interfaz de salida de diodo, dicho interfaz de potencial de polarización de cada diodo fotodetector se conecta a dicho potencial de polarizador;

e) un array NxM de células de unidad de lectura de bajo ruido con ganancia elevada, una célula de unidad de lectura para cada diodo fotodetector;

f) cada célula de unidad lectura que incluye un interfaz de entrada conectado con el interfaz de salida de diodo, un medio de amplificación de la tensión de ganancia elevada que abarca una unidad de comparador, una unidad digital de recuento, que comprende un contador digital, y un interfaz de salida del contador digital conectado en serie, cada unidad digital de recuento cuenta con una señal de salida de la unidad de comparador; dicha señal de salida es proporcional a un número de pares de electrones/huecos generados por un fotón en el diodo fotodetector respectivo;

g) un medio de multiplexado, que comprende un circuito de selección de línea y un circuito de selección de columna que hace posible acceder a cada unidad de célula de lectura, es decir, para leer los datos digitales que actualmente se memorizan en el contador digital, en el interfaz de salida del contador digital;

h) cada interfaz de salida del contador digital se conecta a un bus de salida;

i) dicho bus de salida se conecta a un medio de tratamiento de datos que controla el medio de multiplexado.

Además otras personificaciones ventajosas se indican en las reivindicaciones 2 a 10.

De acuerdo con estas medidas, un dispositivo de imágenes de recuento de fotón se crea teniendo una arquitectura de circuito de lectura que permite ser tolerante con respecto a un defecto local de un diodo detector y/o de una célula de unidad de lectura y eso permite controlar y rediseña el programa y/o el estado de cada diodo detector y/o la célula de unidad de lectura.

Una arquitectura ventajosa comprende el interfaz de salida de diodo de los diodos fotodetectores y el interfaz de entrada de la célula de unidad de lectura para unirse el uno al otro por bump bonding, preferentemente utilizando bumps de indio para la bump bonding. Esta medida facilita la fabricación de un diodo fotodetector y el montaje de células de unidad de lectura a temperaturas bastante bajas. La utilización de los bumps de indio lleva detalladamente a las temperaturas de soldadura inferiores a 100ºC que no pone en peligro las estructuras finas del montaje completo.

Para permitir el control y el acceso a cada uno de las células de unidad de lectura y/o de los diodos detectores, los medios de tratamiento de datos están previstos para conectarse vía los medios de multiplexación con dicho array de células de unidad de lectura. Por lo tanto, dos registros de desplazamiento independientes de los medios de multiplexación pueden tener acceso al circuito de un píxel por elección del respectivo píxel vía la selección de la línea y la columna. Para obrar recíprocamente con los medios de tratamiento de datos cada célula de unidad de lectura comprende una AND-gate que tiene como entradas la selección de línea y la selección de columna de los medios de multiplexado. Si ambas entradas son altas la AND-gate se pone alto y se establece el acceso a la célula de unidad de lectura.

Otra característica favorable en el desarrollo de la invención ya mencionada, puede proporcionar que dichos medios de tratamiento de datos controlan un conmutador de activación/desactivación incluido en los medios de amplificación de la tensión de ganancia elevada, preferiblemente en la unidad de comparador. Por lo tanto, los medios de tratamiento de datos controlan dicho conmutador de activación/desactivación en orden a accionar temporalmente la puerta de los medios de amplificación comprendida en dichos medios de amplificación de la tensión de ganancia elevada.

En orden a ajustar global o individualmente una sensibilidad apropiada de todos o solo de un diodo detector individual, dicha fuente para el suministro de la tensión de umbral hacia dicho medio de amplificación de la tensión de ganancia elevada, incluye una fuente ajustable de suministro de corrección de la tensión de umbral, los dos controlados por el medio de tratamiento de datos a través del medio de multiplexación.

Una medida consecuente proporciona que el medio de tratamiento de datos controla a través del medio de multiplexación uno o varios de los siguientes temas:

a) Programación de la célula de unidad de lectura a través de un puerto;

b) lectura de los datos en la célula de unidad de lectura a través de un puerto;

c) calibración de la célula de unidad de lectura, preferentemente el medio de amplificación de la tensión de ganancia elevada, a través de un puerto; y

d) análisis de la señal analógica en el medio de amplificador de la tensión de ganancia elevada con el fin de diagnosticar a través de un puerto.

Esta medida explica ahora detalladamente las ventajas derivadas de los medios de multiplexación ya mencionados, que permiten el acceso directo a cada célula de la unidad de lectura. Por lo que respecta al calibrado se considera que se puede calibrar la polarización de cada diodo fotodetector. Otro calibrado se puede alcanza por el ajuste ya mencionado de la tensión de umbral por el suministro de corrección del nivel de umbral. Para evaluar el estado del diodo fotodetector y/o la parte analógica del circuito de la célula de unidad de lectura detalladamente, el análisis de la señal analógica procesada con los medios de amplificación de voltaje de beneficio elevado es muy provechoso y sólo se podría alcanzar por la capacidad de tratar un píxel detector distinto usando dos registros de direcciones de fila y columna independientes de los medios de multiplexación.

Para construir un dispositivo de imágenes de recuento de fotones que detecte la radiación del fotón sobre un área focal o plana comparablemente grande con una arquitectura conveniente que puede proveer dicho array NxM de diodos fotodetectores, dicho array NxM de las células de unidad de lectura están disputas sobre una primera placa de soporte sensiblemente plana para formar un módulo sensor, y un tablero de control del módulo sensor esta dispuesto en una segunda placa de soporte sensiblemente plana; dicha primera placa de soporte sensiblemente plana y dicha segunda placa de soporte sensiblemente plana están dispuestas haciendo un ángulo una con la otra. Un ángulo conveniente puede residir dentro de una gama de 30 a 120º, preferiblemente de 45 a 100º. Esta medida permite construir una área de superficie de detección plana o curvada hecha de un número de módulos de sensor que se extienden en el lado opuesto de su superficie de detector, el cuadro de control del módulo sensor abarca por lo menos parcialmente el equipo electrónico requerido de lectura, es decir los medios del tratamiento de datos o por lo menos una parte de ellos.

Para formar un amplio dispositivo de imágenes de recuento de fotones de estado sólido se arregla un número de los módulos de sensor ya mencionados en un array VxW sustancialmente plana o curva en la que V y W son los números enteros al menos uno de ellos más grandes que el otro.

Resumiendo los documentos del estado anterior de la técnica será evidente que ninguno de los documentos revela un dispositivo de imágenes contador de fotones que permite un rendimiento alto de lectura y una fiabilidad superior de las operación que tiene un control muy rápido e inmediato para la electrónica de lectura y de los diodos fotodetectores.

Los ejemplos de la invención se describen a continuación de acuerdo con los dibujos, los cuales describe:

Figura 1 una vista esquemática de un diodo fotodetector;

Figura 2 una vista esquemática de una pieza de un módulo del sensor que comprende un array de diodos fotodetectores como uno de los que se muestran en la figura 1;

Figura 3 una vista esquemática de un detector de microcinta;

Figura 4 una vista esquemática de la lectura electrónica de una célula de unidad de lectura asignada a y conectada con un diodo fotodetector como se muestra en la figura 1;

Figura 5 un módulo sensor como elemento básico para un dispositivo de imágenes contador de fotones que tiene un número de esos módulos sensor con un cuadro de control del módulo sensor;

Figura 6 una vista esquemática de un proceso de lectura del módulo sensor;

Figura 7 una vista esquemática de los fotones que entran en el detector de microcinta de acuerdo con la figura 3;

Figura 8 una vista esquemática de las señales causadas por los fotones según se muestra en la figura 7 que entra en el detector de microcinta; y

Figura 9 un diagrama en bloque detallado de una célula de unidad de lectura realzada como lo muestra la figura 4.

La figura 1 ilustra esquemáticamente la arquitectura de un diodo fotodetector 2 que tiene un semiconductor impurificado p^+, n^+, n^{++} en la sección transgresiva 4. El material escogido por el diodo fotodetector 2 depende de la energía de salto deseada que se requiere para generar un par electrón hueco por el fotoefecto. Los materiales convenientes son el silicio amorfo sin impurificar que tiene una banda prohibida de 1.12 eV y un paquete de compuestos IV-IV y de compuestos III-V (las sales de indio y de galio, como el arseniuro de galio o el antimoniuro de indio).

Un incidente del fotón 6 tiene una energía en la gama de varios KeV antes de entrar en el semiconductor impurificado p^+, n^+, n^{++} en la sección transgresiva 4, pasa a través de una capa de cubierta de aluminio 8 y causa según su energía y la banda prohibida del semiconductor impurificado p^+, n^+, n^{++} en la sección transgresiva 4 un número respectivo de pares de electrones huecos 10 bajo aniquilación de rayos x. En los dibujos, este número de pares de electrones huecos se muestra ejemplarmente por un par de electrones huecos 10 que se dividen por el campo eléctrico generado por una fuente del potencial de polarización 12. La evaluación de la carga ocurrió desde los pares de electrones huecos 10 que se describirá después con referencia a la figura 4.

La figura 2 muestra una vista esquemática de un detector de píxel bidimensional 14 que tiene un número de diodos fotodetectores 2 fijados en una serie de filas 22 y columnas 32 (comparar con la figura 6). Los diodos fotodetectores 2 tienen una longitud 1 y una anchura w de aproximadamente 200 μm y una altura de aproximadamente 300 μm. Debajo del plano de estos diodos fotodetectores 2 un chip de lectura 16 que tiene un número correspondiente de células de unidad de la lectura 18 para recoger la carga de los pares de electrones huecos 10 generados en los diodos fotodetectores respectivos 2. La conjunción eléctrica entre un interfaz de salida del diodo 20 de los diodos fotodetectores 2 y un interfaz de entrada 22 de las células de unidad de lectura 18 se alcanza por el bump bonding usando bumps de indio 24.

El cuadro 3 representa una vista esquemática de un detector de microcinta 26 que tiene un soporte híbrida 28 conectado a un número de treinta y ocho diodos fotodetectores 30 construidos en un sensor de la microcinta de un sector 32 del soporte híbrido 28. Los diodos fotodetectores de tipo de tira 30 tienen una anchura de aproximadamente 15 μm, una longitud de aproximadamente 8 mm y un paso de aproximadamente 50 μm. Al lado del sector del sensor de microcinta 32 un sector de lectura de microcinta 34 se ajusta teniendo un número de células de unidad de lectura 36 (no mostrada detalladamente, pero descrita más adelante) que corresponde al número de diodos fotodetectores 30 del tipo de tira. Estas células de unidad de lectura 36 se conectan con su interfaz de entrada 22 con los diodos fotodetectores 30 por las áreas de conexión 38 que se conectan adicionalmente a un interfaz de salida 40 de las células de unidad de lectura 36 con un sector de recuento digital 42 que se describe también mas adelante. Debido a la anchura muy limitada de los diodos fotodetectores 30 de tipo de tira la resolución espacial realizable en una dimensión es superior sobre la resolución espacial del detector de píxel 14 bidimensional del tipo array.

La figura 4 ahora representa una vista esquemática de un equipo de lectura electrónico 44 que se puede utilizar tanto para el detector de píxel bidimensional 14 como para el detector de microcinta 26. El equipo de lectura electrónico 44 se divide en un bloque analógico 46 y en un bloque digital 48. El bloque analógico 46 comienza con el bump pad 22 (interfaz), 38 respectivamente conectado con una terminal de entrada de un amplificador sensible a la carga Amp. Para los propósitos del calibrado, una fuente de tensión de calibración U_{Cal} se conecta vía un condensador C con el terminal de entrada del amplificador Amp. Para la capacidad del condensador se ha elegido una capacidad comparablemente diminuta de alrededor de solo 1.7 fF que permite ser suficientemente sensible para que los fotoelectrones puedan cambiar el voltaje sobre el condensador C a una extensión, que esta diferencia se puede amplificar significativamente por el amplificador Amp denominado de aquí en adelante como la primera señal de tensión de salida.

Esta primera señal de tensión de salida se lleva a uno de los dos terminales de entrada de un amplificador comparador CA que esta conectado además a una fuente para el suministro de la tensión de umbral U_t. El otro terminal de entrada del amplificador comparador CA se conecta adicionalmente a una fuente para el suministro de corrección de la tensión de umbral TC. Esta fuente para el suministro de corrección de la tensión de umbral TC permite influir la polarización de los terminales de entrada del amplificador comparador CA. Según la polarización predeterminada de los terminales de entrada del amplificador comparador CA, incluso la primera señal de la tensión de salida para CS del amplificador Amp que representa una parte fraccionaria de la carga de los pares huecos fotoelectrónicos generados, solo puede ser adicionalmente procesado y por lo tanto no se pierde para el tratamiento de datos y la evaluación sucesivas.

Este equipo de lectura electrónico 44 permite la detección de fracciones de la carga completa de los pares de fotoelectrones huecos 10 generados por un incidente de los rayos x qué puede ocurrir cuando los pares fotoelectrones huecos 10 se generan en la zona en penumbra situada entre dos diodos fotodetectores 2 adyacentes el cuál será descrito más adelante con referencia a las figuras 7 y 8.

Como ejemplo, la fuente para el suministro de corrección de la tensión de umbral TC se puede ajustar hasta un nivel definido por una mitad de la carga completa de los pares fotoelectrones huecos 10 generados en total por un fotón de rayos x. Consiguientemente, la distribución de la carga de los fotoelectrones a los diodos fotodetectores 2 adyacentes puede ser adicionalmente procesada. Una unidad de procesamiento de datos ulterior se permite ahora realizar una evaluación diferencial de las señales de tensión digitales de salida de los comparadores que tienen su origen de los fotoelectrones en diodos fotodetectores 2 adyacentes, por el cual estos fotoelectrones han sido generados por el mismo fotón de rayo X.

Con posterioridad el bloque analógico 46 es el bloque digital 48 que tiene generalmente la tarea de convertir la señal de tensión de salida digital en una señal digital de contador que pueda ser evaluada por los medios de multiplexación MM provistos con los medios de tratamiento de datos DPM. Junto con un conmutador activador/desactivador E/D de diversos medios temporizadores, es decir un reloj externo RCLK para los medios del tratamiento de datos DPM controla un generador de reloj CG para una unidad de recuento digital SRC que ella misma se conecta a una salida del bus de lectura RBO. Los datos digitales memorizados en el bloque digital 48 de una célula de unidad de lectura distinta pueden entonces ser leída si una selección de fila RS y una selección de columna CS son de colocación alta, por lo que también es alto un AND-gate &.

La figura 5 ilustra un dispositivo de imágenes de recuento de fotones de estado sólido 50 que detecta la radiación de fotón sobre un área plana comparablemente grande. La presente arquitectura combina un número de dieciséis sensores de píxel 14 que se ajustan en una primera placa de soporte 52 sustancialmente plana para construir un módulo de sensor 54, y un cuadro de control del módulo sensor 56 que se ajusta en una segunda placa de soporte sustancialmente plana 58 alojado en el equipo de evaluación electrónico, es decir los medios de multiplexación MM, los medios de tratamiento de datos DPM, que siguen el equipo de lectura electrónico 44 ya mencionado. La primera placa de soporte sustancialmente plana 52 y la segunda placa de soporte sustancialmente plana 58 se ajustan formando un ángulo de 90º. Esta medida permite construir un área de superficie del detector plana o curvada (aquí no representada en los dibujos) hecha de un número de módulos de sensor 54 que tienen los cuadros de control del módulo sensor 56 orientado en el lado opuesto de su superficie del detector.

La figura 6 ahora muestra una vista esquemática sobre un proceso de lectura del módulo sensor indicando que los medios apropiados de multiplexación permiten con una lógica selección de la fila RS y una lógica selección de la columna CS direccionar una célula de unidad de lectura 18 predeterminada en orden a la lectura del valor del contador digital SRC. Esta direccionabilidad lleva a la capacidad del dispositivo de imágenes de recuento de fotones 50 para tener acceso y/o controlar continua o temporalmente cada célula de la unidad de lectura. El dispositivo de imágenes de recuento de fotones 50 posee la capacidad de acceder y/o controlar vía los medios del tratamiento de datos DPM a través de los medios de multiplexación MM uno o más de las siguientes cuestiones:

a) programación de la célula de unidad de lectura vía un puerto DIN;

b) lectura de los datos en la célula de unidad de lectura vía un puerto DOUT;

c) calibrado de la célula de la unidad de lectura, preferiblemente los medios del amplificador de tensión de alta ganancia 46, vía un puerto CAL; y

d) analiza la señal analógica en los medios de amplificación de tensión de alta ganancia 46 con el fin del diagnostico vía un puerto AOUT.

Todos los puertos antes mencionados DIN, DOUT, CAL y AOUT se comprenden en el bus de lectura RB que se controla por los medios de tratamiento de datos DPM. Con respecto a los medios de multiplexación MM, se tiene que señalar adicionalmente que este medio de multiplexación MM es sustancialmente un chip separado localizado en el cuadro de control del modulo sensor 56. Este chip separado genera un chip selector para al menos uno o todos los chips de lectura asignados a cada uno de los sensores del píxel 14. Cada chip de lectura por sí mismo comprende un registro de desplazamiento selector de columna y un registro de desplazamiento selector de fila escogido para seleccionar un

píxel de sensor distinto. Por lo tanto, en principio los medios de multiplexación MM se asignan tanto a cada chip de lectura como al cuadro de control del módulo sensor 56.

Adicionalmente, la figura 6 representa una región de interés ROI que consta de nueve diodos fotodetectores 2 que será descritos detalladamente más adelante con la figura 9.

Las figuras 7 y 8 se utilizan ahora para introducir el concepto ya mencionado de carga que comparte en el detector de microcinta 26 permitiendo el realce de la posición de la resolución para el incidente del fotón 6 que entra en el semiconductor impurificado p^+, n^+, n^{++} de la sección transgresiva 4. Las líneas de puntos indican la línea del campo eléctrico del potencial de polarización 12 que permite recoger los fotoelectrones en el ánodo del diodo fotodetector 2 según lo mostrado esquemáticamente en la figura 7. Dos de los diodos fotodetectores 30 y sus respectivas células de unidad de lectura 36 son denominados de aquí en adelante como un primer canal Ch1 y un segundo canal Ch2.

En los dibujos según la figura 8, se muestra la situación con respecto a los potenciales causados por el incidente de los fotones de 6a, 6b y 6c. La carga de los pares de huecos electrónicos 10 generados por los fotones 6b y 6c absorbida en el semiconductor impurificado p^+, n^+, n^{++} de la sección transgresiva 4 en una región intermedia 60 entre los dos canales Ch1 y Ch2 se divide sobre estos dos canales Ch1 y Ch2 según la posición de los fotones 6b y 6c. La carga se comparte a los dos canales Ch1 y Ch2 y ambos canales Ch1 y Ch2 muestran una pulsación analógica en la salida del amplificador sensible a la carga Amp que se puede ver en figuras 8b y 8c.

Los pulsos después del amplificador Amp (entrando en el comparador CA) para los fotones 6a, 6b, 6c se muestran en las figura 8a, 8b y 8c respectivamente. Dependiendo del ajuste de una tensión de umbral V_{Thresh} en el comparador CA, ocurre cierto riesgo de que los fotones 6a, 6b y 6c estén contados dos veces ($V_{Thresh} < A_{max}/2$) o en absoluto ($V_{Thresh} < A_{max}/2$). Ambos efectos son sumamente indeseables y el doble recuento es un problema grave para los experimentos de difracción.

Es por lo tanto ventajoso poner en práctica en los medios de tratamiento de datos DPM una lógica que prohíba el doble recuento para las tensiones de umbral bajos ($V_{Thresh} < A_{max}/2$).

La lógica para evitar el doble recuento, fácilmente se puede poner en práctica, usando el hecho de que la señal de salida OS del comparador CA para el pulso con la amplitud más alta incluye totalmente la señal de salida del comparador CA para el canal vecino con la amplitud inferior como puede verse en la figura 8b. La figura 8b representa la distribución de los fotoelectrones causados por el fotón 6b que incorpora la región intermedia 60 un poco más en el lado del segundo canal Ch2. Por lo tanto el pulso generado en el segundo canal Ch2 excede del pulso respectivo en el primer canal Ch1.

Por lo tanto, la señal de salida OS del comparador CA del canal con la amplitud más alta, aquí el segundo canal Ch2, se puede utilizar para deshabilitar el canal adyacente, aquí el primer canal Ch1, que muestra la amplitud de señal más baja. El recuento doble se evita por lo tanto deshabilitando el canal más débil. Es decir, usando la señal de salida OS del comparador CA de un canal dominante para deshabilitar el comparador CA a través del conmutador E/D de activación/desactivación (o el contador) de sus dos canales vecinos proporcionando la amplitud coincidente del canal central que esta encima del umbral.

El efecto de la carga que comparte sobre dos canales adyacentes se puede también utilizar ventajosamente para mejorar la resolución de la posición sobre la resolución de la posición dada por el moldeado de los diodos fotodetectores 30. Por ejemplo, esto se puede hacer al introducir canales intermedios en la lectura electrónica que o tiene una parte analógica especial que suma las señales analógicas de los dos vecinos para restaurar la carga completa de los pares de huecos de electrones causados por los fotones que entran en la región intermedia, o evita completamente la parte analógica para el canal intermedio, para diseñar un canal intermedio virtual que sólo cuenta en caso de que ambos comparadores CA de ambos vecinos den un pulso coincidente que en total alcanza sustancialmente el nivel de la carga completa de un fotón completamente absorbido en un canal. En el caso de suma análoga un esquema como el que se ha dado mas arriba se puede utilizar para evitar el recuento doble.

En el último caso o la lógica adicional se tiene que ejecutar para evitar el recuento de los vecinos o, incluso más fácil, puesto que el canal intermedio cuenta solamente si ambos vecinos cuentan, el valor de recuento del canal intermedio se puede justo restar de ambos vecinos. Esto se puede hacer fuera de línea Para la mejora de la resolución la tensión de umbral V_{Thresh} tiene que estar en la gama $0 < V_{Thresh} < A_{max}/2$, preferentemente mas cercano a $A_{max}/2$ que a cero.

La figura 9 ilustra ahora detalladamente el diseño del equipo electrónico 44 de las células de unidad de lectura 18,36. Otra vez la parte analógica 46 se muestra comprendiendo el poco ruido, del amplificador Amp de ganancia elevada y el comparador COMP. La parte analógica 46 se muestra de una manera sombreada. Cualquier otro componente mostrado en esta figura 9 contribuye a la parte digital 48. Adicionalmente a la vista esquemática de acuerdo con la figura 4, el control de la parte analógica 46 se representa por un calibrado y una unidad de corrección del umbral DAC + LATCH que por una parte controlan un conmutador de calibración CALSWITCH y por otra parte pone el nivel de potencia para el suministro de corrección de la potencia de umbral TC. El calibrado y la unidad de corrección de umbral DAC + LATCH se direcciona tanto por el ajuste del AND-gate por el selector de columna CS y el selector de línea RS y el AND-gate para la programación de cierre PRGL a “Alto” (lógicamente a “1”).

Dentro de la operación de recuento normal, la señal de salida OS se procesa con el generador de impulsos y el contador SRC. Con respecto a la selección de una región específica de interés ROI como se muestra en la figura 6, la señal después de que el generador de pulsaciones PG se procesa en una región de unidad de interés ROI SEL que se puede programar por un puerto PRG_ROI. La región de la unidad de interés ROI SEL hasta ahora administra la señal entrante del generador de pulsaciones PG y asigna estas señales a la región de interés predefinida ROI. A propósito, se debería mencionar que se puede predeterminar un número de regiones diferentes de intereses ROI (0, ..., K), aunque en la figura 6 sólo se muestre una región de interés. La asignación es hecha al poner una señal de salida a la respectiva región de interés del interfaz de salida ROI $(0, ..., K)_{out}$ que se conecta a los medios de tratamiento de datos DPM. La presencia de esta señal de salida se acompaña por un time stamp que se almacena en los medios de tratamiento de datos DPM con referencia a la región de interés respectiva ROI. En esta manera, los time stamp representan la presencia del incidente de fotones 6 en la región preseleccionada de interés ROI. Por lo tanto, una resolución en el tiempo significativamente superior por el tiempo de llegada de los fotones que impacta el detector de píxel 14 o el detector de microcinta 26 en la región de interés ROI. Para generar los time stamps, se puede utilizar un reloj que se puede utilizar como un contador de impulsos con una frecuencia específica, por ejemplo 100 MHz para una resolución en el tiempo deseado de 10 ns El reloj se puede reiniciar al comienzo del experimento para definir el tiempo $t_0 = 0$.

Como se puede ver en la figura 6, la región de interés ROI consta de una serie 3x3 de diodos fotodetectores 2. Se debe de mencionar que, alternativamente, una región de interés puede ser aún más grande o aún más pequeña de hasta sólo un diodo fotodetector 2.

Lista de número de referencia

2	Diodo fotodetector
4	Semiconductor impurificado p^+, n^+, n^{++} la sección transgresiva
6	Fotón
6a, 6b, 6c	Fotones
8	Capa de cubierta de aluminio
10	par electrón hueco
12	Fuente del potencial de polarización
14	Detector de píxel
16	Chip de Lectura
18	Células de unidad de lectura
20	Interfaz de salida de diodos
22	Interfaz de entrada
24	Bumps de indio
26	Detector de microcinta
28	Soporte híbrido
30	Diodos fotodetector de tipo de tira
32	Sector del sensor de microcinta
34	Sector de lectura de microcinta
36	Células de la unidad de lectura
38	Áreas de conexión
40	Interfaz de salida
42	Sección del contador digital
44	Equipo de lectura electrónico
46	Bloque analógico

48	Bloque digital
50	Dispositivo de imágenes de recuento de fotones en estado sólido
52	Primera placa de soporte sustancialmente plana
54	Modulo sensor
56	Cuadro de control del modulo sensor
58	Segunda placa de soporte sustancialmente plana
60	Región intermedia
A_{max}	Amplitud media
Amp	Amplificador sensible a la carga
C	Condensador
CA, COMP	Amplificador comparador
CAL	Potencia de calibración
CALSWITCH	Conmutador para la potencia de calibración
CG	Generador de reloj
Ch1, Ch2	Primer canal respectivamente segundo canal de dos células de unidad de lectura adyacentes
CS	Selección de columna
DAC + LATCH	Unidad de corrección del calibrado y del umbral
E/D	Conmutador de activar/desactivar
MM	Medios de multiplexación
OS	Señal de salida
PG	Generador de impulsos
PRGL	Puerto para la programación del DAC + LATCH
PRG_ROI	Puerto para la programación del ROI SEL
RB	Bus de lectura
Reset	Reinicio del contador digital
ROI	Región de interés
ROI·SEL	Región de la unidad de interés
$ROI(0. ..., K)_{out}$	Región de interés del interfaz de salida
RS	Selección de fila
SRC	Unidad del contador digital
t	Tiempo
TC	Fuente de suministro de corrección de la potencia de umbral
U_{cal}	Fuente de la potencia de calibrado
U_T	Fuente para el suministro de la tensión de umbral
V_{Thresh}	Tensión de umbral.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) para un recuento único de rayos x que comprende:

a) una capa de material fotosensible (4);

b) una fuente de potencial de polarización (12);

c) una fuente para el suministro de la tensión de umbral (U_t);

d) un array NxM de diodos fotodetectores (2) dispuestos en dicha capa de material fotosensible (4); cada uno de dichos diodos fotodetectores (2) tienen un interfaz de potencial de polarización y un interfaz de salida de diodo (20), dicho interfaz de potencial de polarización de cada diodo fotodetector (2) se conecta a dicho potencial de polarizador (12);

e) un array NxM de células de unidad de lectura (18, 36), de bajo ruido con ganancia elevada una célula de unidad de lectura (18, 36) para cada diodo fotodetector (2);

f) cada célula de unidad lectura (18, 36) que incluye un interfaz de entrada (22) conectado con el interfaz de salida de diodo (22), un medio de amplificación de la tensión de ganancia elevada (46) que abarca una unidad de comparador (CA), una unidad digital de recuento (48), que comprende un contador digital (sec), y un interfaz de salida del contador digital (RBO) conectado en serie, cada unidad digital de recuento (48) cuenta con una señal de salida de la unidad de comparador (CA); dicha señal de salida es proporcional a un número de pares de electrones/huecos (10) generados por un fotón (6) en el diodo fotodetector respectivo (2);

g) un medio de multiplexación (MM), que comprende un circuito de selección de línea (RS) y un circuito de selección de columna (CS) que hace posible acceder a cada unidad de célula de lectura, es decir, para leer los datos digitales que actualmente se memorizan en el contador digital (RSC), en el interfaz de salida del contador digital;

h) cada interfaz de salida del contador digital (RBO) se conecta a un bus de salida;

i) dicho bus de salida se conecta a un medio de tratamiento de datos (DPM) que controla el medio de multiplexado (MM).

2. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) según la reivindicación 1, **caracterizada** en que

el interfaz de salida de diodo (20) de los diodos fotodetectores (2) y el interfaz de entrada (22) de la célula de unidad de lectura (18, 36) se une uno al otro por bump bonding.

3. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) según la reivindicación 2, **caracterizada** en que

se utilizan bumps de indio (24) para la bump bonding.

4. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada** en que

los medios de tratamiento de datos (DPM) se preparan para que se conecten vía los medios de multiplexado (MM) al array de células de unidad de lectura (18, 36) que permiten el control de cada una de las células de la unidad de lectura (18, 36).

5. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) según la reivindicación 4, **caracterizada** en que

dichos medios de tratamiento de datos (DPM) controlan un conmutador de activación/desactivación (E/D) incluido en los medios de amplificación de la tensión de ganancia elevada (46), preferiblemente en la unidad de comparador (CA).

6. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

caracterizada en que

dicha fuente para el suministro de la tensión de umbral (U_t) hacia dicho medio de amplificación de la tensión de ganancia elevada (46) incluye una fuente ajustable de suministro de corrección de la tensión de umbral (TC), los dos controlados por el medio de tratamiento de datos(DPM) a través del medio de multiplexación (MM).

7. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

caracterizada en que

el medio de tratamiento de datos (DPM) controla a través del (MM) medio de multiplexación uno o varios de los siguientes temas:

a) Programación de la célula de unidad de lectura a través de un puerto (DIN);

b) lectura de los datos en la célula de unidad de lectura a través de un puerto (DOUT);

c) calibración de la célula de unidad de lectura, preferentemente el medio de amplificación de la tensión de ganancia elevada (46), a través de un puerto (CAL); y

d) análisis de la señal analógica en el medio de amplificador de la tensión de ganancia elevada (46) con el fin de diagnosticar a través de un puerto (AOUT).

8. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) según la reivindicación 1, **caracterizada** en que,

dicho array NxM de diodos fotodetectores (2), dicho array NxM de las células de unidad de lectura (18, 36) están disputas sobre una primera placa de soporte sensiblemente plana (52) para formar un módulo sensor (54), y un tablero de control del módulo sensor (56) esta dispuesto en una segunda placa de soporte sensiblemente plana (58); dicha primera placa de soporte sensiblemente plana (52) y dicha segunda placa de soporte sensiblemente plana (58) están dispuestas haciendo un ángulo (α) una con la otra.

9. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) según la reivindicación 8, **caracterizada** en que,

dicho ángulo (α) está comprendido en una gama entre 30 y 120º, preferiblemente substancialmente entre 45 y 100º.

10. Dispositivo de imágenes de recuento de fotones (50) según la reivindicación 9, **caracterizada** en que,

un cierto número de dichos módulos sensores (54) están dispuestos en un array VxW sustancialmente plano.

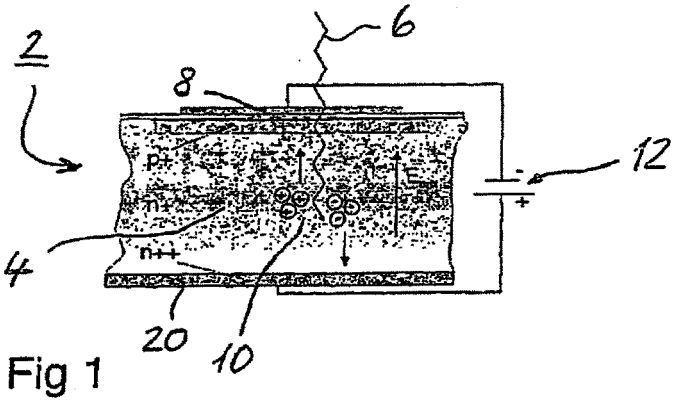


Fig 1

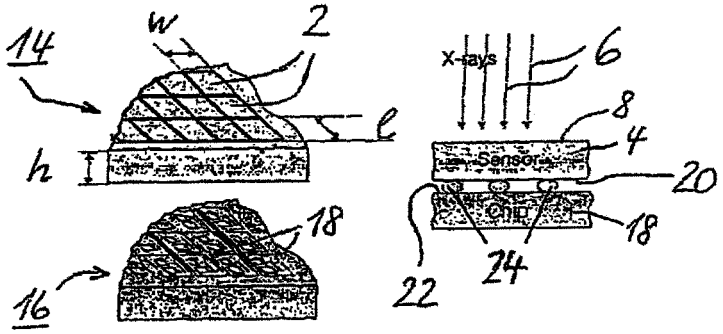


Fig 2

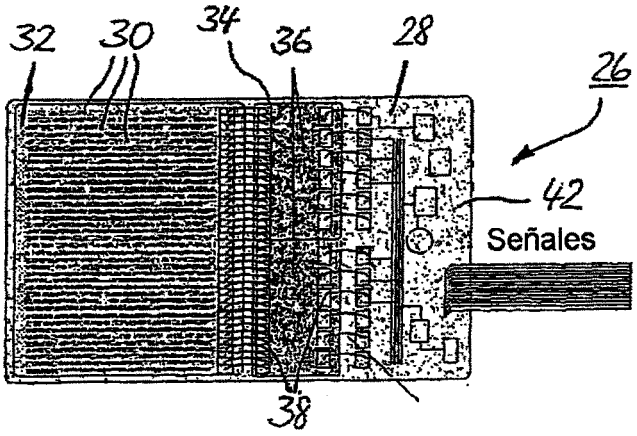


Fig 3

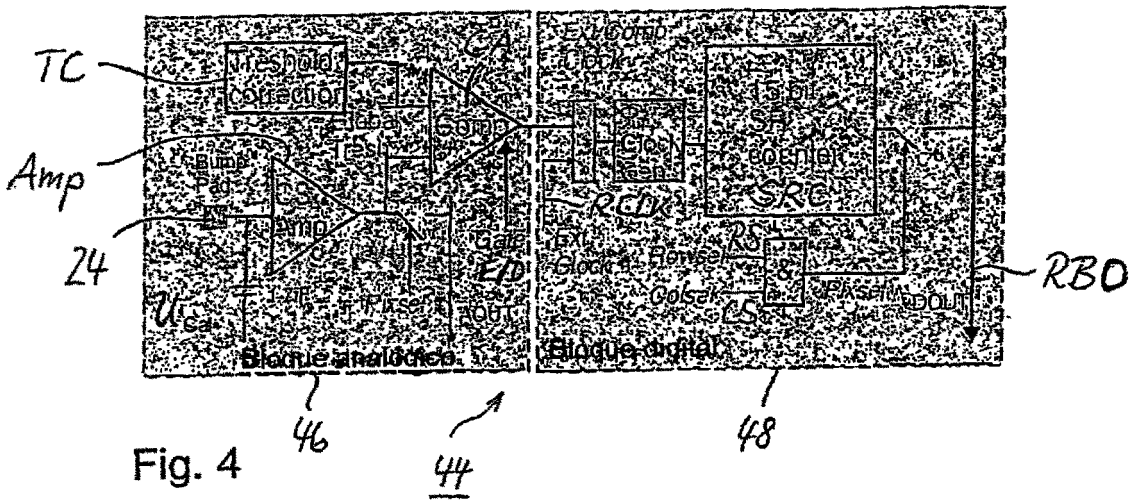

TC
Amp
24
RBO
46
44
48
Treshold correction
Comp
Bloque analógico
Bloque digital
RCLK
SRC
RS
CS
DOUT

Fig. 4

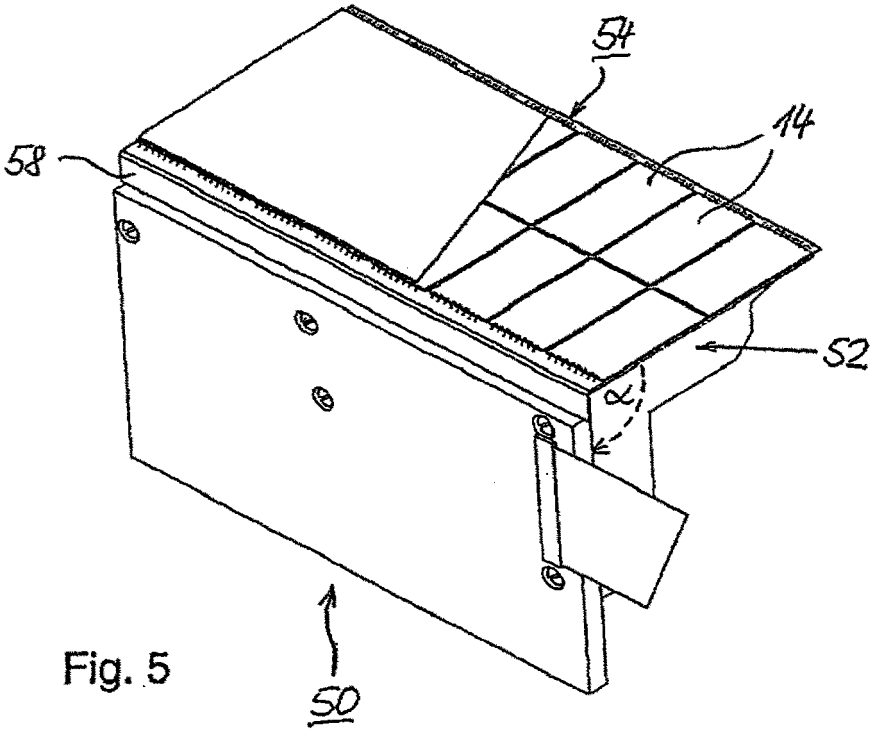

54
14
58
52
α
50

Fig. 5

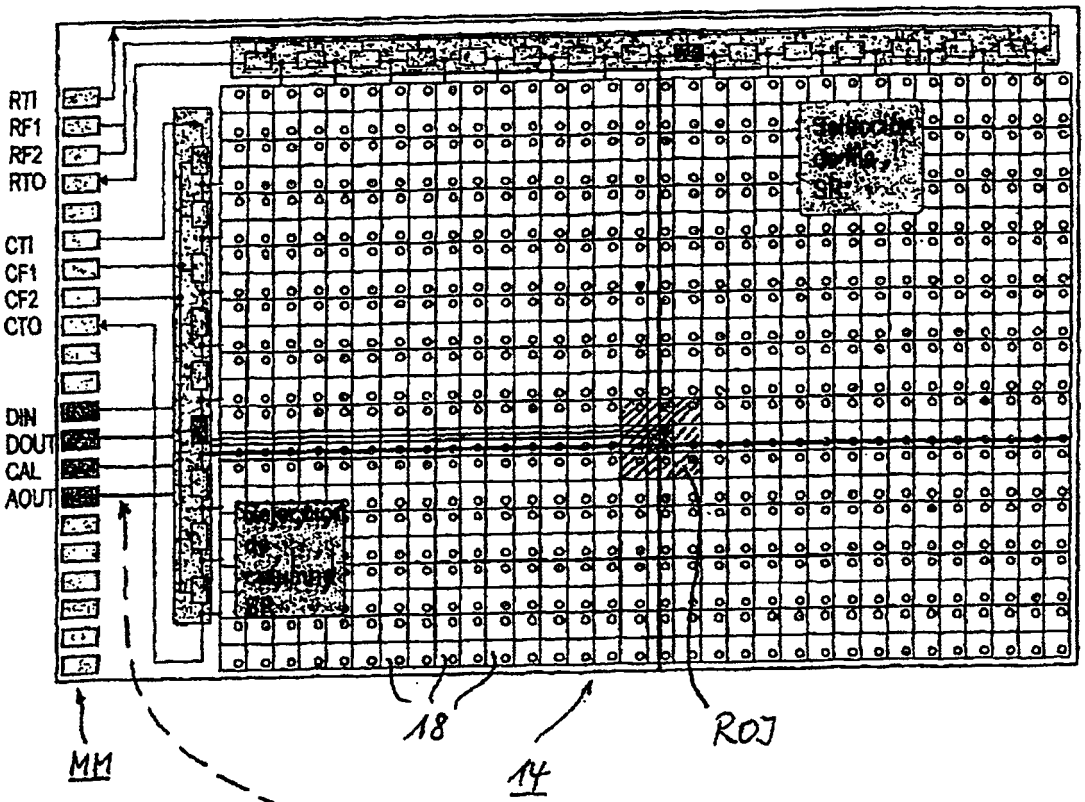
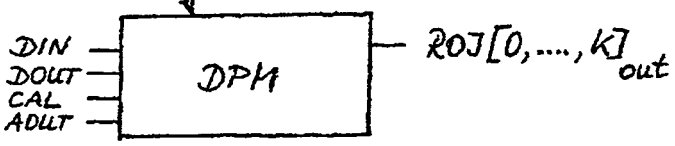

RTI
RF1
RF2
RTO
CTI
CF1
CF2
CTO
DIN
DOUT
CAL
AOUT
18
14
ROJ
MM

Fig. 6


DIN
DOUT
CAL
ADUT
DPM
ROJ[0,....,K]out

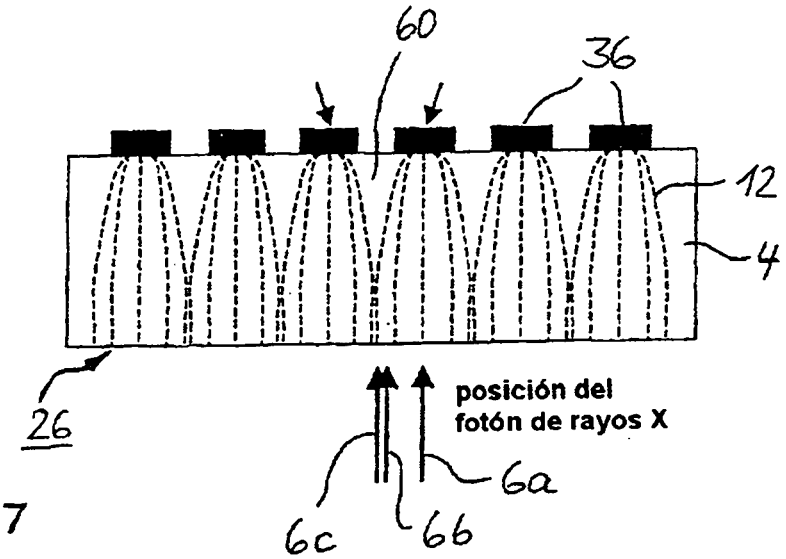

60
36
12
4
26
posición del
fotón de rayos X
6a
6c
66

Fig. 7

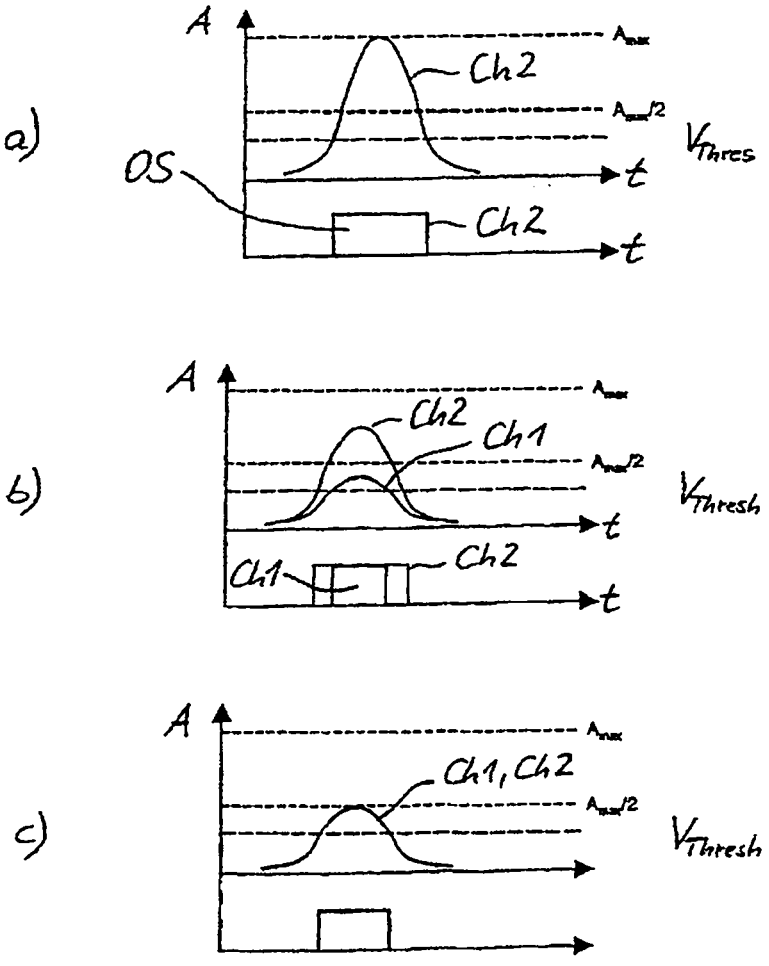

a)
A
Ch2
OS
t
b)
Ch1
c)
Ch1, Ch2

Fig. 8

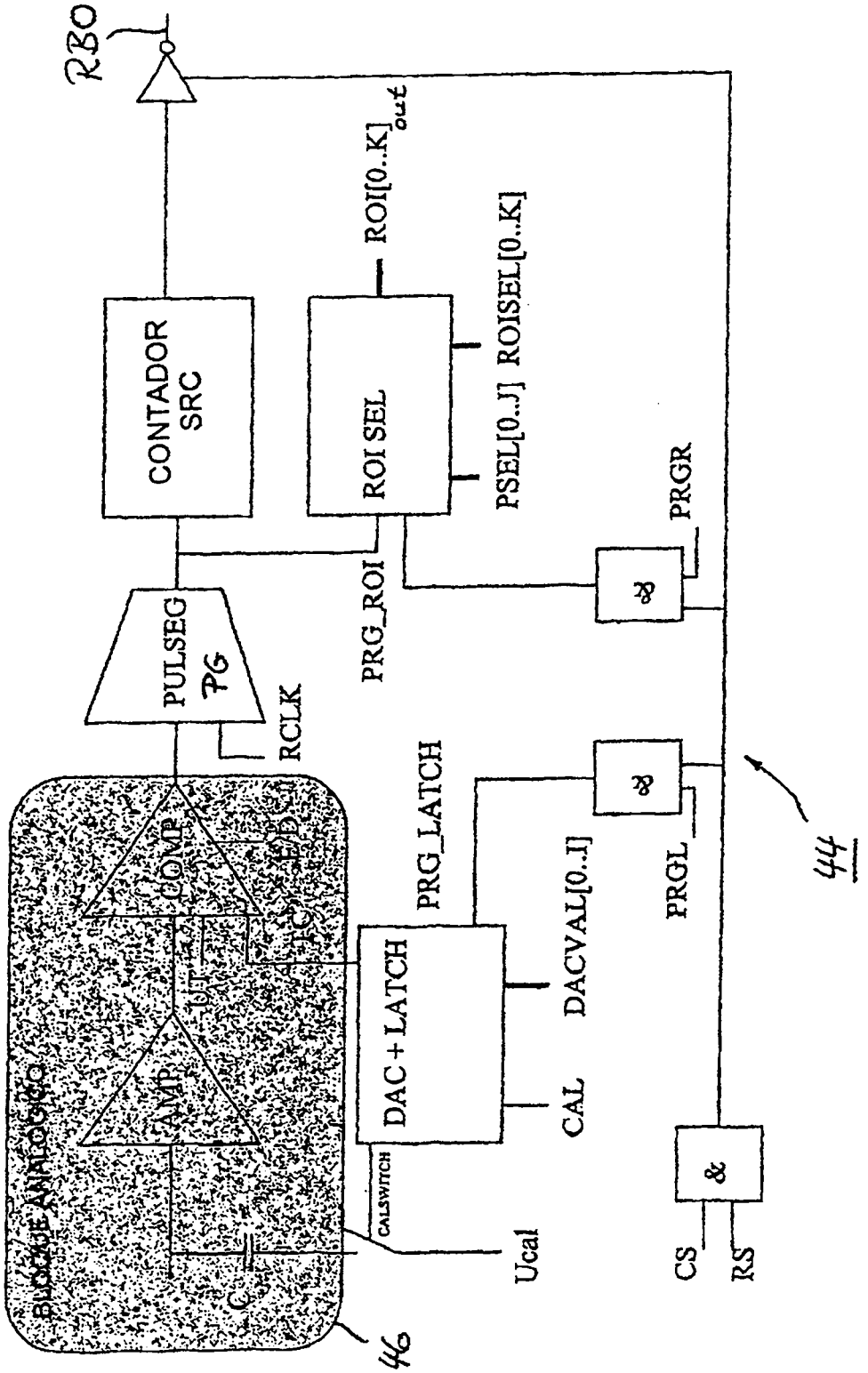

RBO
CONTADOR SRC
ROI SEL
ROI[0..K]out
PSEL[0..J]
ROISEL[0..K]
PRGR
PRG_ROI
PULSEG PG
RCLK
PRG_LATCH
DAC + LATCH
DACVAL[0..J]
PRGL
CAL
CALSWITCH
Ucal
CS
RS
&
44
46
BLOQUE ANALÓGICO
AMP
COMP
C

Fig. 9