

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 176**

51 Int. Cl.:

**G01J 1/00** (2006.01)

**H01L 51/42** (2006.01)

**H01L 31/0352** (2006.01)

**H01L 31/112** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.11.2015 E 15196932 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019 EP 3174108**

54 Título: **Aparato fotodetector de puntos cuánticos y procedimientos asociados**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.01.2020**

73 Titular/es:

**EMBERION OY (100.0%)  
Metsänneidonkuja 8  
02130 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**KALLIOINEN, SAMI SEPPO ANTERO y  
VOUTILAINEN, MARTTI KALEVI**

74 Agente/Representante:

**CURELL SUÑOL, S.L.P.**

ES 2 739 176 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**

Aparato fotodetector de puntos cuánticos y procedimientos asociados.

**5 Campo técnico**

La presente exposición se refiere, en particular, a fotodetectores, y a procedimientos y aparatos asociados. Ciertas formas de realización tratan, específicamente, sobre un aparato que comprende por lo menos un par de un primer y un segundo fotodetectores que tienen, cada uno de ellos, una pluralidad de puntos cuánticos configurados para generar pares electrón-hueco al someterse a una exposición a radiación electromagnética incidente. En estas formas de realización, el aparato está configurado de tal manera que el primer y el segundo fotodetectores generan pares electrón-hueco que producen un aumento y una reducción, respectivamente, de la corriente eléctrica, siendo el cambio combinado de la corriente eléctrica del par del primer y segundo fotodetectores indicativo de la presencia y/o la magnitud de la radiación electromagnética incidente. Algunas formas de realización pueden referirse a dispositivos electrónicos portátiles, en particular, los denominados dispositivos electrónicos de mano que pueden ser cogidos con la mano mientras se están usando (aunque se pueden colocar en una base durante su uso). Dichos dispositivos electrónicos de mano incluyen los denominados Asistentes Personales Digitales (PDA) y los PC de tipo tableta.

Los aparatos/dispositivos electrónicos portátiles de acuerdo con una o más formas de realización/aspectos a modo de ejemplo divulgados pueden proporcionar una o más funciones de comunicación de audio/texto/vídeo (por ejemplo, telecomunicaciones, videocomunicación, y/o transmisión de texto, funciones de Servicio de Mensajes Cortos (SMS)/Servicio de Mensajes Multimedia (MMS)/funciones de correo electrónico, funciones de visionado interactivo/no interactivo (por ejemplo, exploración web, navegación, funciones de visionado de TV/programas), funciones de grabación/reproducción de música (por ejemplo, grabación/reproducción de MP3 u otro formato y/o de emisiones de radio (FM/AM)), funciones de descarga/envío de datos, una función de captura de imágenes (por ejemplo, usando una cámara digital (por ejemplo, incorporada)), y funciones de juego.

**30 Antecedentes**

En la actualidad se están realizando investigaciones para desarrollar dispositivos fotodetectores nuevos.

El documento US2014299741 divulga un aparato que comprende una película de grafeno; una primera disposición de puntos cuánticos de un primer tipo situados en contacto con la película de grafeno como primera monocapa; una segunda disposición de puntos cuánticos de un segundo tipo situados en contacto con la película de grafeno como segunda monocapa; una fuente de voltaje de entrada conectada a un extremo de la película de grafeno; y una sonda de voltaje de salida conectada a la película de grafeno entre la primera disposición de puntos cuánticos y la segunda disposición de puntos cuánticos.

El documento WO2008131313 divulga un fotodetector que comprende un circuito integrado y por lo menos dos capas ópticamente sensibles. Cada capa ópticamente sensible está interpuesta entre dos electrodos. Los dos electrodos incluyen un primer electrodo respectivo y un segundo electrodo respectivo. El circuito integrado aplica selectivamente una polarización a los electrodos y lee señales de las capas ópticamente sensibles.

El documento US2011278541 divulga dispositivos optoelectrónicos sensibilizados para una longitud de onda particular de radiación electromagnética, de tal manera que los dispositivos proporcionan una mayor eficiencia de rendimiento en esa longitud de onda. Los dispositivos incluyen una capa fotoconductor de semiconductores que abarca una separación electródica entre dos electrodos con el fin de proporcionar un conducto eléctrico fotoconductor. En apoyo contra la capa de semiconductores se encuentra una pluralidad de nanopartículas plasmónicas.

El documento WO2013021095 divulga un aparato que comprende una primera capa configurada para posibilitar un flujo de portadores de carga desde un electrodo fuente hasta un electrodo drenador, una segunda capa configurada para controlar la densidad de portadores de carga en la primera capa usando un campo eléctrico formado entre la primera y la segunda capas, y una tercera capa posicionada entre la primera y la segunda capas para blindar la primera capa con respecto al campo eléctrico.

**Sumario**

60 Según un primer aspecto, se proporciona un aparato que comprende por lo menos un par de un primer y un segundo fotodetectores,

comprendiendo cada fotodetector del par de fotodetectores un elemento de canal, electrodos fuente y drenador respectivos configurados para posibilitar un flujo de corriente eléctrica a través del elemento de canal entre los electrodos fuente y drenador, y una pluralidad de puntos cuánticos configurados para generar pares electrón-hueco al someterse a una exposición a radiación electromagnética incidente con el fin de

producir un cambio detectable en la corriente eléctrica que fluye a través del elemento de canal,

estando configurado el aparato de tal manera que el primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores generan pares electrón-hueco que producen un aumento y una reducción de la corriente eléctrica a través de los elementos de canal respectivamente, siendo el cambio combinado de la corriente eléctrica del par del primer y segundo fotodetectores indicativo de la presencia y/o la magnitud de la radiación electromagnética incidente, y de tal manera que el primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores están dispuestos de modo que el cambio combinado de la corriente eléctrica se convierte en una señal de voltaje correspondiente.

La pluralidad de puntos cuánticos puede comprender ligandos unidos a los mismos los cuales están configurados para posibilitar la transferencia o bien de electrones o bien de huecos de los pares electrón-hueco generados hacia el elemento de canal dejando los portadores de carga restantes en los puntos cuánticos para producir el cambio detectable de la corriente eléctrica.

El primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores pueden comprender, de manera similar, elementos de canal dopados, y los ligandos del primer fotodetector pueden estar configurados para posibilitar la transferencia de un tipo diferente de portador de carga al elemento de canal respectivo en comparación con los ligandos del segundo fotodetector con el fin de producir los cambios diferentes de la corriente eléctrica.

El primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores pueden comprender elementos de canal dopados inversamente, y los ligandos del primer fotodetector pueden estar configurados para posibilitar la transferencia del mismo tipo de portador de carga al elemento de canal respectivo al igual que los ligandos del segundo fotodetector con el fin de producir los cambios diferentes en la corriente eléctrica.

El primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores pueden comprender, cada uno de ellos, un electrodo de puerta configurado para generar un campo eléctrico al producirse la aplicación de un voltaje en el mismo, posibilitando el campo eléctrico generado la transferencia o bien de electrones o bien de huecos de los pares electrón-hueco generados al elemento de canal dejando los portadores de carga restantes en los puntos cuánticos con el fin de producir el cambio detectable en la corriente eléctrica.

El primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores pueden comprender elementos de canal dopados similarmente, y el voltaje aplicado al electrodo de puerta del primer fotodetector puede tener una polaridad inversa al voltaje aplicado al electrodo de puerta del segundo fotodetector, de tal manera que los campos eléctricos resultantes posibilitan la transferencia de tipos diferentes de portador de carga a los elementos de canal respectivos con el fin de producir los cambios diferentes en la corriente eléctrica.

El primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores pueden comprender elementos de canal dopados inversamente, y el voltaje aplicado al electrodo de puerta del primer fotodetector puede tener la misma polaridad que el voltaje aplicado al electrodo de puerta del segundo fotodetector, de tal manera que los campos eléctricos resultantes posibilitan la transferencia del mismo tipo de portador de carga a los elementos de canal respectivos con el fin de producir los cambios diferentes en la corriente eléctrica.

El electrodo de puerta de uno o más del primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores puede estar configurado de tal manera que el campo eléctrico generado por el voltaje aplicado facilita o inhibe la transferencia de portadores de carga por parte de los ligandos al elemento de canal respectivo.

El electrodo de puerta de uno o más del primer y del segundo fotodetectores del par de fotodetectores puede estar configurado de tal manera que el campo eléctrico generado por el voltaje aplicado provoca un dopaje electrostático del elemento de canal respectivo.

El primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores pueden estar dispuestos de tal manera que el cambio combinado de la corriente eléctrica se convierte en una señal de voltaje correspondiente.

El primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores pueden estar dispuestos para formar un circuito de medio puente configurado para convertir el cambio combinado de la corriente eléctrica en una señal de voltaje simple (*single-ended*).

El aparato puede comprender por lo menos dos pares de un primer y un segundo fotodetectores dispuestos para formar un circuito de puente completo configurado para convertir el cambio combinado de la corriente eléctrica en una señal de voltaje diferencial.

Uno o más de entre el material, el tamaño y la forma de los puntos cuánticos pueden estar configurados de tal manera que los pares electrón-hueco se generan al someterse a exposición a por lo menos uno de los siguientes tipos de radiación electromagnética: rayos X, luz visible, infrarrojos, ultravioleta, ondas de radiofrecuencia, microondas, rayos gamma y radiación térmica.

El elemento de canal de por lo menos un fotodetector puede comprender uno o más de un material bidimensional, grafeno, un material de tipo grafeno y un dicalcogenuro de metal de transición. Se apreciará que elementos de canal pueden comprender membranas/hojas de estructuras de carbono de grosor nanométrico.

5 El material de tipo grafeno puede comprender uno o más de óxido de grafeno, fosforeno, siliceno, germaneno, estaneno, h-BN, AlN, GaN, InN, InP, InAs, BP, BAs y GaP.

10 El dicalcogenuro de metal de transición puede comprender uno o más de  $WX_2$ ,  $MoX_2$ ,  $ScX_2$ ,  $TiX_2$ ,  $HfX_2$ ,  $ZrX_2$ ,  $VX_2$ ,  $CrX_2$ ,  $MnX_2$ ,  $FeX_2$ ,  $CoX_2$ ,  $NiX_2$ ,  $NbX_2$ ,  $TcX_2$ ,  $ReX_2$ ,  $PdX_2$ ,  $PtX_2$ , en donde X = S, Se ó Te.

Los puntos cuánticos de por lo menos un fotodetector pueden comprender uno o más de PbS, CdSe, CdS, PbSe, ZnO, ZnS, CZTS,  $Cu_2S$ ,  $Bi_2S_3$ ,  $Ag_2S$ ,  $Ag_2S$ , HgTe, CdHgTe, InAs, InSb, Ge y CIS.

15 Los ligandos de por lo menos un fotodetector pueden comprender uno o más de oleato, óxido de trioctilfosfina, ácido alquifosfónico, ácido graso, alquilamina de cadena larga, 1,2-etanoditiol, piridina, butilamina y 1,3-benzenoditiol.

20 Los electrodos fuente, drenador y de puerta de por lo menos un fotodetector pueden comprender uno o más de un metal, una tinta con nanopartículas metálicas, plata, oro, cobre, níquel, cobalto, paladio, un óxido metálico conductor, un material basado en carbono, un material orgánico y un polímero.

25 El aparato puede ser uno o más de un dispositivo electrónico, un dispositivo electrónico portátil, un dispositivo de telecomunicaciones portátil, un teléfono móvil, un asistente personal digital, una tableta, un tabléfono, un ordenador de sobremesa, un ordenador portátil, un servidor, un teléfono inteligente, un reloj inteligente, gafas inteligentes, un sensor, un sensor de rayos X, y un módulo correspondiente a uno o más de los mismos.

Según un aspecto adicional, se proporciona un procedimiento de uso de un aparato,

30 comprendiendo el aparato por lo menos un par de un primer y un segundo fotodetectores,

comprendiendo cada fotodetector del par de fotodetectores un elemento de canal, electrodos fuente y drenador respectivos configurados para posibilitar un flujo de corriente eléctrica a través del elemento de canal entre los electrodos fuente y drenador, y una pluralidad de puntos cuánticos configurados para generar pares electrón-hueco al someterse a una exposición a radiación electromagnética incidente con el fin de producir un cambio detectable en la corriente eléctrica que fluye a través del elemento de canal,

40 estando configurado el aparato de tal manera que el primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores generan pares electrón-hueco que producen un aumento y una reducción de la corriente eléctrica a través de los elementos de canal respectivamente, siendo el cambio combinado de la corriente eléctrica del par del primer y segundo fotodetectores indicativo de la presencia y/o la magnitud de la radiación electromagnética incidente,

45 disponiendo el procedimiento el primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores de tal modo que el cambio combinado en la corriente eléctrica se convierte en una señal de voltaje correspondiente, y determinando la presencia y/o la magnitud de radiación electromagnética incidente sobre el aparato basándose en el cambio combinado de la corriente eléctrica del par del primer y el segundo fotodetectores como consecuencia de la radiación electromagnética incidente.

50 Las etapas de cualquiera de los procedimientos divulgados en la presente memoria no tienen que llevarse a cabo en el orden exacto divulgado, a no ser que se mencione explícitamente o sea interpretado así por los expertos.

55 Programas informáticos correspondientes para implementar una o más etapas de los procedimientos divulgados en la presente memoria se sitúan, también, en la presente exposición y quedan incluidos en una o más de las formas de realización descritas a modo de ejemplo.

60 Uno o más de los programas informáticos, cuando se ejecutan en un ordenador, pueden conseguir que el ordenador configure cualquier aparato, incluyendo una batería, circuito, mando o dispositivo divulgado en la presente memoria o que lleve a cabo cualquier procedimiento divulgado en la presente memoria. Uno o más de los programas informáticos pueden ser implementaciones de *software*, y el ordenador se puede considerar como cualquier *hardware* adecuado, incluyendo un procesador de señal digital, un microcontrolador y una implementación en memoria de solo lectura (ROM), memoria de solo lectura programable y borrrable (EPROM) o memoria de solo lectura programable y borrrable electrónicamente (EEPROM), como ejemplos no limitativos. El *software* puede ser un programa ensamblador.

65 Uno o más de los programas informáticos se pueden proporcionar en un soporte legible por ordenador, el cual

puede ser un soporte físico legible por ordenador, tal como un disco o un dispositivo de memoria, o se puede materializar en forma de una señal transitoria. Dicha señal transitoria puede ser una descarga de red, incluyendo una descarga de internet.

5 El anterior sumario está destinado a ser meramente ejemplificativo y no limitativo.

### Breve descripción de las figuras

10 A continuación se ofrece una descripción, únicamente a título de ejemplo, en referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 muestra un ejemplo de un aparato fotodetector que comprende un circuito de medio puente;

15 la figura 2 muestra un fotodetector que comprende un transistor de efecto de campo de puntos cuánticos;

la figura 3 muestra un ejemplo del presente aparato que comprende un circuito de medio puente;

20 la figura 4 muestra la manera en que pueden usarse ligandos para controlar la transferencia de portadores de carga desde un punto cuántico hasta el elemento de canal;

la figura 5 muestra la manera en que puede usarse un electrodo de puerta para controlar la transferencia de portadores de carga desde un punto cuántico hasta el elemento de canal;

25 la figura 6 muestra la manera en que varía la respuesta optoelectrónica de un fotodetector de puntos cuánticos con el voltaje de puerta aplicado;

la figura 7 muestra un ejemplo de un aparato fotodetector que comprende un circuito de puente completo;

30 la figura 8 muestra un ejemplo del presente aparato que comprende un circuito de puente completo;

la figura 9 muestra señales de salida de voltaje ejemplificativas para el aparato ilustrado en las figuras 1, 3, 7 y 8;

35 la figura 10 muestra otro ejemplo del presente aparato;

la figura 11 muestra un procedimiento de uso del presente aparato;

la figura 12 muestra un procedimiento de realización del presente aparato; y

40 la figura 13 muestra un soporte legible por ordenador, que comprende un programa informático configurado para realizar, controlar o habilitar un procedimiento descrito en la presente memoria.

### Descripción de aspectos/formas de realización específicos

45 Normalmente, los dispositivos fotodetectores existentes padecen una relación de señal/ruido baja y, por lo tanto, requieren amplificadores de alto rendimiento para su compensación. Los amplificadores de este tipo hacen que aumenten los costes y la complejidad de la circuitería y consumen un área superficial sobre el chip que, de otro modo, podría usarse para la detección.

50 La figura 1 muestra un ejemplo de un dispositivo fotodetector existente que comprende un resistor R y un fotodetector basado en transistores de efecto de campo FET conectado en serie entre terminales de suministro de alimentación VDD y de tierra GND. Los transistores de efecto de campo comprenden electrodos fuente y drenador configurados para posibilitar un flujo de corriente eléctrica a través de un elemento de canal entre los electrodos fuente y drenador, y un electrodo de puerta configurado para variar la corriente eléctrica que fluye a través del elemento de canal cuando se aplica un voltaje en el mismo. No obstante, para posibilitar la fotodetección, el electrodo de puerta se sustituye (o se complementa) con un material fotosensible configurado para producir un cambio detectable en la corriente eléctrica al someterse a exposición a radiación electromagnética incidente 101, que es indicativo de uno o más de la presencia y la magnitud de la radiación electromagnética incidente.

60 La figura 2 muestra un dispositivo fotodetector que comprende un material fotosensible encima del elemento de canal 202 del transistor de efecto de campo (el cual, a su vez, está sustentado sobre un sustrato 207). El dispositivo comprende, también, una fuente de alimentación configurada para aplicar una diferencia de potencial V entre los electrodos fuente 203 y drenador 204, y un amperímetro 205 configurado para medir la corriente eléctrica que fluye a través del elemento de canal 202. En este ejemplo, el material fotosensible comprende una pluralidad de puntos cuánticos 206 configurados para generar pares electrón-hueco al someterse a exposición a

la radiación electromagnética incidente 201. El aparato está configurado de tal manera que, después de la generación de estos pares electrón-hueco, o bien los electrones o bien los huecos se transfieren al elemento de canal 202 dejando los portadores de carga restantes en los puntos cuánticos 206. A continuación, estos portadores de carga restantes regulan el elemento de canal 202 provocando un cambio detectable en la corriente que fluye a través del mismo.

En muchos casos, la señal de salida del fotodetector se traslada a un conversor analógico-a-digital (ADC) para posibilitar un procesado digital subsiguiente de la señal. No obstante, puesto que la mayoría de ADC requieren señales en modo de voltaje, la señal en modo de corriente del transistor de efecto de campo (es decir, el cambio en la corriente eléctrica que fluye a través del elemento de canal 202), tiene que convertirse en una señal de voltaje correspondiente VN. Esto se logra con la disposición de divisor de voltaje del resistor R y el transistor de efecto de campo FET. Una opción alternativa consiste en incorporar un amplificador de transimpedancia, pero esto requiere más *hardware*, alimentación y área de superficie.

A continuación, se describirán un aparato y procedimientos asociados que pueden proporcionar una mayor relación señal/ruido sin necesidad de amplificación adicional de la señal.

La figura 3 muestra un ejemplo del presente aparato. El aparato comprende por lo menos un par de un primer FET1 y un segundo FET2 fotodetectores. Cada fotodetector del par de fotodetectores FET1,2 comprende un elemento de canal, electrodos fuente y drenador respectivos configurados para posibilitar un flujo de corriente eléctrica a través del elemento de canal entre los electrodos fuente y drenador, y una pluralidad de puntos cuánticos configurados para generar pares electrón-hueco al someterse a exposición a radiación electromagnética incidente 301 con el fin de producir un cambio detectable en la corriente eléctrica que fluye a través del elemento de canal. Además, el aparato está configurado de tal manera que el primer FET1 y el segundo FET2 fotodetectores del par de fotodetectores FET1,2 generan pares electrón-hueco que producen un aumento y una reducción de la corriente eléctrica a través de los elementos de canal respectivamente, siendo el cambio combinado de corriente eléctrica del par de primer FET1 y segundo FET2 fotodetectores indicativo de la presencia y/o la magnitud de la radiación electromagnética incidente 301.

Puesto que el primer fotodetector FET1 presenta una respuesta optoelectrónica inversa al segundo fotodetector FET2, la señal de salida del presente aparato puede ser de hasta dos veces la del dispositivo fotodetector de la figura 1. Además, debido a que el segundo fotodetector FET2 sustituye esencialmente el resistor R de la figura 1, y elimina también la necesidad de un amplificador de transimpedancia adicional, puede usarse una mayor área superficial del aparato para la detección de la radiación electromagnética incidente 301. Este aspecto proporciona un dispositivo más eficiente.

En este ejemplo, el elemento de canal de cada fotodetector FET1,2 puede comprender grafeno. El grafeno presenta una movilidad relativamente alta de los portadores de carga, la cual es particularmente sensible al campo eléctrico generado por el electrodo de puerta o material fotosensible. No obstante, en otros ejemplos, el elemento de canal de por lo menos un fotodetector FET1,2 puede comprender diferentes materiales bidimensionales, tales como un material de tipo grafeno (por ejemplo, óxido de grafeno, fosforeno, silicón, germano, estano, h-BN, AlN, GaN, InN, InP, InAs, BP, BaS o GaP) o un dicalcogenuro de metal de transición (por ejemplo, WX<sub>2</sub>, MoX<sub>2</sub>, ScX<sub>2</sub>, TiX<sub>2</sub>, HfX<sub>2</sub>, ZrX<sub>2</sub>, VX<sub>2</sub>, CrX<sub>2</sub>, MnX<sub>2</sub>, FeX<sub>2</sub>, CoX<sub>2</sub>, NiX<sub>2</sub>, NbX<sub>2</sub>, TcX<sub>2</sub>, ReX<sub>2</sub>, PdX<sub>2</sub> o PtX<sub>2</sub>, donde X = S, Se ó Te). Además, los electrodos fuente, drenador y de puerta de por lo menos un fotodetector pueden comprender uno o más de entre un metal, una tinta con nanopartículas metálicas, plata, oro, cobre, níquel, cobalto, un óxido metálico conductor, un material basado en carbono, un material orgánico y un polímero.

Existen varias maneras según las cuales puede configurarse el aparato de tal modo que el primer FET1 y el segundo FET2 fotodetectores produzcan cambios diferentes en la corriente eléctrica. Por ejemplo, esto puede lograrse usando ligandos diferentes unidos a los puntos cuánticos de los fotodetectores respectivos FET1,2. En este ejemplo, el primer FET1 y el segundo FET2 fotodetectores del par de fotodetectores FET1,2 pueden comprender elementos de canal dopados de manera similar, y los ligandos del primer fotodetector FET1 se pueden configurar para posibilitar la transferencia de un tipo diferente de portador de carga al elemento de canal respectivo en comparación con los ligandos del segundo fotodetector FET2. Similarmente, el primer FET1 y el segundo FET2 fotodetectores del par de fotodetectores FET1,2 pueden comprender elementos de canal dopados inversamente, y los ligandos del primer fotodetector FET1 se pueden configurar para posibilitar la transferencia del mismo tipo de portador de carga al elemento de canal respectivo al igual que los ligandos del segundo fotodetector FET2.

La figura 4 muestra la manera en que pueden usarse ligandos 408 para controlar la transferencia de portadores de carga 409 desde un punto cuántico 406 hasta el elemento de canal 402. Tal como puede observarse en este ejemplo, la radiación electromagnética incidente 401 provoca la excitación de un electrón 409 en el punto cuántico 406 generando un par electrón-hueco. En este ejemplo, los ligandos 408 unidos al punto cuántico 406 se configuran de tal manera que el electrón 409 del par electrón-hueco puede crear un túnel a través de los ligandos 408 hacia el elemento de canal 402 dejando el hueco restante 410 en el punto cuántico 406 para

producir el cambio detectable en la corriente eléctrica. En otro ejemplo, los ligandos 408 unidos al punto cuántico 406 se pueden configurar de tal manera que el hueco 410 del par electrón-hueco pueda crear un túnel a través de los ligandos 408 hacia el elemento de canal 402, dejando el electrón restante 409 en el punto cuántico 406 para producir el cambio detectable en la corriente eléctrica. No obstante, el mecanismo de transferencia de carga no se limita meramente a la tunelización de electrones/huecos. En algunos ejemplos, además o en lugar de la tunelización de electrones/huecos pueden usarse saltos de electrones/huecos activados térmicamente.

Cuando el elemento de canal 402 tiene un dopaje de tipo p y los ligandos 408 posibilitan la transferencia de electrones 409 desde el punto cuántico 406 hasta el elemento de canal 402, los huecos restantes 410 en el punto cuántico 406 crean una región de empobrecimiento en el elemento de canal 402 provocando una reducción de la corriente eléctrica que fluye a través del mismo. Por otro lado, cuando los ligandos 408 posibilitan la transferencia de huecos 410 desde el punto cuántico 406 hasta el elemento de canal 402, los electrones restantes 409 del punto cuántico 406 crean una región conductora en el elemento de canal 402 provocando un incremento de la corriente eléctrica que fluye a través del mismo. Se cumple lo contrario cuando el elemento de canal 402 tiene un dopaje de tipo n.

Uno o más de entre el material, el tamaño y la forma de los puntos cuánticos 406 se pueden configurar de tal manera que los pares electrón-hueco se generen al someterse a exposición a por lo menos uno de los siguientes tipos de radiación electromagnética 401: rayos X, luz visible, infrarrojos, ultravioleta, ondas de radiofrecuencia, microondas, rayos gamma y radiación térmica. Los puntos cuánticos 406 de por lo menos uno de los fotodetectores pueden comprender uno o más de PbS, CdSe, CdS, PbSe, ZnO, ZnS, CZTS, Cu<sub>2</sub>S, Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Ag<sub>2</sub>S, Ag<sub>2</sub>S, HgTe, CdHgTe, InAs, InSb, Ge y CIS, y los ligandos 408 de por lo menos uno de los fotodetectores pueden comprender uno o más de oleato, óxido de trioctilfosfina, ácido alquilfosfónico, ácido graso, alquilamina de cadena larga, 1,2-etanoditiol, piridina, butilamina y 1,3-bencenoditiol.

La transferencia de portadores de carga 409, 410 depende también de la estructura de las bandas entre el punto cuántico 406 y el elemento de canal 402, la cual puede verse afectada por el dopaje o los voltajes de polarización. En relación con esto, otra forma de configurar el aparato de tal manera que el primer y el segundo fotodetectores produzcan cambios diferentes en la corriente eléctrica es mediante la aplicación de voltajes de polaridad inversa a electrodos de puerta respectivos del primer y el segundo fotodetectores. En este escenario, el primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores pueden comprender elementos de canal 402 dopados de manera similar, y el voltaje aplicado al electrodo de puerta del primer fotodetector puede tener una polaridad inversa con respecto al voltaje aplicado al electrodo de puerta del segundo fotodetector. De manera similar, el primer y el segundo fotodetectores del par de fotodetectores pueden comprender elementos de canal 402 dopados inversamente, y el voltaje aplicado al electrodo de puerta del primer fotodetector puede tener la misma polaridad que el voltaje aplicado al electrodo de puerta del segundo fotodetector.

La figura 5 muestra la manera en que puede usarse un electrodo de puerta 511 para controlar la transferencia de portadores de carga 509, 510 desde un punto cuántico 506 hasta el elemento de canal 502. Tal como se muestra, el electrodo de puerta 511 está separado del elemento de canal 502 por una capa de material dieléctrico 512 para evitar un flujo de corriente eléctrica entre ellos. Cuando se aplica un voltaje 513 al electrodo de puerta 511, se produce un campo eléctrico que posibilita la transferencia de un electrón 509 o hueco 510, del par electrón-hueco generado al elemento de canal 502 dejando el portador de carga restante en el punto cuántico 506 para producir el cambio detectable en la corriente eléctrica. Si se aplica un voltaje positivo al electrodo de puerta 511, el campo eléctrico resultante posibilita la transferencia de un electrón 509 desde el punto cuántico 506 al elemento de canal 502. De manera similar, si se aplica un voltaje negativo al electrodo de puerta 511, el campo eléctrico resultante posibilita la transferencia de un hueco 510 desde el punto cuántico 506 hasta el elemento de canal 502. Por lo tanto, cuando el elemento de canal 502 tiene un dopaje p y el voltaje aplicado 513 posibilita la transferencia de un electrón 509 desde el punto cuántico 506 hasta el elemento de canal 502, el hueco restante 510 en el punto cuántico 506 crea una región de empobrecimiento en el elemento de canal 502 provocando una reducción de la corriente eléctrica que fluye a través del mismo. Por otro lado, cuando el voltaje aplicado 513 posibilita la transferencia de un hueco 510 desde el punto cuántico 506 hasta el elemento de canal 502, el electrón restante 509 en el punto cuántico 506 crea una región conductora en el elemento de canal 502 provocando un aumento de la corriente eléctrica que fluye a través del mismo. Se cumple lo contrario cuando el elemento de canal 502 tiene un dopaje n.

La figura 6 muestra un ejemplo de la manera en que puede variarse la respuesta optoelectrónica de un fotodetector de puntos cuánticos con el voltaje de puerta aplicado. En este ejemplo, un aumento de la intensidad de la radiación electromagnética incidente provocaba una reducción de la corriente eléctrica cuando se aplicaba un voltaje negativo al electrodo de puerta, y un aumento de la corriente eléctrica cuando se aplicaba un voltaje positivo en el electrodo de puerta. Por lo tanto, si el primer fotodetector FET1 se polariza con un voltaje de puerta positivo y el segundo fotodetector FET2 se polariza con un voltaje de puerta negativo, la radiación electromagnética incidente provocará un aumento y una reducción de la corriente eléctrica a través de los elementos de canal asociados respectivamente.

En algunos casos, uno o más del primer FET1 y del segundo FET2 fotodetectores pueden utilizar ligandos y un

electrodo de puerta para controlar la transferencia de portadores de carga desde los puntos cuánticos hasta el elemento de canal respectivo. En este escenario, el campo eléctrico generado por el voltaje de puerta aplicado se puede usar para facilitar o inhibir la transferencia de portadores de carga por parte de los ligandos al elemento de canal respectivo. Por ejemplo, si los ligandos están configurados para posibilitar la transferencia de electrones al elemento de canal, puede usarse un voltaje de puerta positivo para facilitar la transferencia de electrones o puede usarse un voltaje de puerta negativo para inhibir la transferencia de electrones. En este escenario, el campo eléctrico generado por el voltaje de puerta hace que aumente o que se reduzca, respectivamente, la velocidad de transferencia de carga. Uno de los motivos para aumentar la velocidad de transferencia de carga es reducir las posibilidades de recombinación de electrones-huecos dentro de los puntos cuánticos lo cual, si no, reduciría el efecto de la radiación electromagnética incidente sobre la corriente eléctrica que fluye a través del elemento de canal. Por lo tanto, el aumento de la velocidad de transferencia de carga hace que mejore la sensibilidad del aparato.

En algunos casos, el elemento de canal de uno o más del primer FET1 y del segundo FET2 fotodetectores del par de fotodetectores FET1,2 se puede dopar químicamente con impurezas. De manera adicional o alternativa, el electrodo de puerta de uno o más del primer FET1 y del segundo FET2 fotodetectores se puede configurar de tal manera que el campo eléctrico generado por el voltaje de puerta aplicado provoque un dopaje electrostático del elemento de canal respectivo. Por ejemplo, puede usarse un voltaje de puerta positivo para transferir huecos desde un elemento de canal no dopado hasta los puntos cuánticos dejando los electrones de los pares electrón-hueco en el elemento de canal (es decir, canal con dopaje n), mientras que puede usarse un voltaje de puerta negativo para transferir electrones desde un elemento de canal no dopado hasta los puntos cuánticos dejando los huecos de los pares electrón-hueco en el elemento de canal (es decir, canal con dopaje p). Por lo tanto, en estos casos, el electrodo de puerta se puede usar para controlar la transferencia de portadores de carga tanto hacia como desde el elemento de canal.

La figura 7 muestra otro ejemplo de un dispositivo fotodetector. A diferencia de los ejemplos mostrados en las figuras 1 y 3 que comprenden un circuito de medio puente configurado para convertir el cambio de la corriente eléctrica en una señal de voltaje simple correspondiente, los fotodetectores FET y resistores R están dispuestos para formar un circuito de puente completo configurado para convertir el cambio de la corriente eléctrica en una señal de voltaje diferencial VN, VP. Las señales diferenciales VN, VP tienden a ser menos sensibles a la interferencia de la alimentación y al ruido de modo común, lo cual da como resultado una mayor relación de señal/ruido.

La figura 8 muestra otro ejemplo del presente aparato. En este ejemplo, los resistores R de la figura 7 se sustituyen por fotodetectores FET1 configurados para proporcionar una respuesta inversa a la radiación electromagnética incidente en comparación con los fotodetectores existentes FET2. Por lo tanto, el circuito de puente completo de la figura 8 comprende dos pares de primer FET1 y segundo FET2 fotodetectores, pero se podría ampliar para incluir uno o más pares de fotodetectores FET1,2.

La figura 9 muestra señales de salida de voltaje a modo de ejemplo para el aparato ilustrado en las figuras 1, 3, 7 y 8 (respectivamente de izquierda a derecha). El lado izquierdo de la figura muestra las señales de salida de voltaje simple para los circuitos de medio puente, y el lado derecho de la figura muestra las señales de salida de voltaje diferencial para los circuitos de puente completo. Tal como se muestra, la magnitud de la señal de salida (y, por lo tanto, la ganancia) aumenta con el número de fotodetectores (componentes activos) por rama.

La figura 10 muestra otro ejemplo del presente aparato 1014. El aparato 1014 puede ser uno o más de un dispositivo electrónico, un dispositivo electrónico portátil, un dispositivo de telecomunicaciones portátil, un teléfono móvil, un asistente personal digital, una tableta, un tabléfono, un ordenador de sobremesa, un ordenador portátil, un servidor, un teléfono inteligente, un reloj inteligente, gafas inteligentes, un sensor, un sensor de rayos X y un módulo correspondiente a uno o más de los mismos. En el ejemplo mostrado, el aparato 1014 comprende los diversos componentes descritos previamente (indicados, en conjunto, con el número de referencia 1015), un amperímetro 1016, un voltímetro 1017, una fuente de alimentación 1018, un procesador 1019 y un soporte de almacenamiento 1020, los cuales están conectados eléctricamente entre sí por un bus de datos 1021.

El procesador 1019 está configurado para un funcionamiento general del aparato 1014 proporcionando señalización hacia, y recibiendo señalización desde, los otros componentes con el fin de gestionar su funcionamiento. El soporte de almacenamiento 1020 está configurado para almacenar código de ordenador configurado para ejecutar, controlar o posibilitar el funcionamiento del aparato 1014. El soporte de almacenamiento 1020 también puede estar configurado para almacenar ajustes para los otros componentes. El procesador 1019 puede acceder al soporte de almacenamiento 1020 con el fin de recuperar los ajustes de los componentes para gestionar el funcionamiento de los otros componentes.

Bajo el control del procesador 1019, la fuente de alimentación 1018 está configurada para aplicar un voltaje entre los electrodos fuente y drenador de cada fotodetector con el fin de posibilitar un flujo de corriente eléctrica a través del elemento de canal respectivo. Además, la fuente de alimentación 1018 puede estar configurada para aplicar otro voltaje al electrodo de puerta con el fin de controlar la transferencia de portadores de carga entre los



puntos cuánticos y el elemento de canal.

El amperímetro 1016 está configurado para medir la corriente eléctrica a través de los elementos de canal de los fotodetectores respectivos, de manera que pueden determinarse todos los cambios en la corriente provocados por la radiación electromagnética incidente. De manera adicional o alternativa, el voltímetro 1017 está configurado para medir la señal de voltaje correspondiente al cambio combinado en la corriente eléctrica.

Sobre la base del cambio combinado de la corriente eléctrica del primer y del segundo fotodetectores, o la señal de voltaje correspondiente, el procesador 1019 está configurado para determinar la presencia y/o la magnitud de la radiación electromagnética incidente. Para determinar la presencia/magnitud de la radiación electromagnética incidente, el procesador 1019 puede usar datos de calibración predeterminados, guardados en el soporte de almacenamiento 1020, que correlacionan la intensidad de la radiación electromagnética con el cambio combinado de la corriente o la señal de voltaje correspondiente.

El procesador 1019 puede ser un microprocesador, incluyendo un Circuito Integrado de Aplicación Específica (ASIC). El soporte de almacenamiento 1020 puede ser un soporte de almacenamiento temporal, tal como una memoria de acceso aleatorio volátil. Por otro lado, el soporte de almacenamiento 1020 puede ser un soporte de almacenamiento permanente, tal como una unidad de disco duro, una memoria *flash*, o una memoria no volátil de acceso aleatorio. La fuente de alimentación 1018 puede comprender uno o más de entre una batería principal, una batería secundaria, un condensador, un supercondensador y un híbrido de batería-condensador.

La figura 11 muestra esquemáticamente las etapas principales 1122 a 1123 de un procedimiento de utilización del presente aparato. El procedimiento comprende en general: medir el cambio combinado de corriente eléctrica del primer y del segundo fotodetectores o la señal de voltaje correspondiente 1122; y determinar la presencia y/o la magnitud de la radiación electromagnética incidente sobre la base del cambio combinado de corriente eléctrica o señal de voltaje correspondiente 1123.

La figura 12 muestra esquemáticamente las etapas principales 1224 a 1225 de un procedimiento de realización del presente aparato. El procedimiento comprende en general: formar por lo menos un par de un primer y un segundo fotodetectores 1224; y configurar el aparato de tal manera que el primer y el segundo fotodetectores generen pares electrón-hueco que producen un aumento y una reducción de corriente eléctrica, respectivamente, 1225. Tal como se indica con el recuadro de trazos, la etapa 1224 se puede llevar a cabo por separado con respecto a la etapa 1225 y, por lo tanto, es opcional.

La figura 13 ilustra esquemáticamente un soporte legible por ordenador/procesador 1326 que proporciona un programa informático de acuerdo con una forma de realización. El programa informático puede comprender código de ordenador configurado para ejecutar, controlar o habilitar una o más de las etapas de procedimiento 1122 a 1225 de la figura 11 o 12. En este ejemplo, el soporte legible por ordenador/procesador 1326 es un disco tal como un disco digital versátil (DVD) o un disco compacto (CD). En otras formas de realización, el soporte legible por ordenador/procesador 1326 puede ser cualquier soporte que se haya programado de tal manera que lleve a cabo una función de la invención. El soporte legible por ordenador/procesador 1326 puede ser un dispositivo de memoria extraíble, tal como una memoria USB o una tarjeta de memoria (SD, mini SD, micro SD o nano SD).

Otras formas de realización representadas en las figuras han sido provistas de números de referencia que se corresponden con características similares de formas de realización descritas anteriormente. Por ejemplo, el número de característica 1 se puede corresponder también con los números 101, 201, 301, etc. Estas características numeradas pueden aparecer en las figuras, pero puede que no se les haya hecho referencia directamente dentro de la descripción de estas formas de realización particulares. Aun así las mismas se han proporcionado en las figuras para ayudar a entender las formas de realización adicionales, en particular en relación con las características de formas de realización similares descritas anteriormente.

Los lectores versados apreciarán que cualquier aparato/dispositivo mencionado y/u otras características de un aparato/dispositivo mencionado particular pueden ser proporcionados por aparatos dispuestos de tal manera que lleguen a configurarse para llevar a cabo las operaciones deseadas únicamente cuando se habiliten, por ejemplo, activen o similar. En tales casos, pueden no tener necesariamente el *software* adecuado cargado en la memoria activa en el estado no habilitado (por ejemplo, estado desactivado) y cargar únicamente el *software* adecuado en el estado habilitado (por ejemplo, estado activado). El aparato puede comprender circuitería de *hardware* y/o *firmware*. El aparato puede comprender *software* cargado en memoria. Dichos programas de *software*/informáticos se pueden grabar en la misma memoria/procesador/unidades funcionales y/o en una o más memorias/procesadores/unidades funcionales.

En algunas formas de realización, un aparato/dispositivo mencionado particular se puede preprogramar con el *software* adecuado para llevar a cabo operaciones deseadas, y pudiendo estar habilitado el *software* adecuado para su uso mediante la descarga, por parte de un usuario, de una "clave", por ejemplo, para desbloquear/habilitar el *software* y su funcionalidad asociada. Las ventajas asociadas a tales formas de

realización pueden incluir un requisito más laxo de descarga de datos cuando se requiera una funcionalidad adicional para un dispositivo, y esto puede ser útil en ejemplos en los que se percibe que un dispositivo tiene capacidad suficiente para almacenar dicho *software* preprogramado para una funcionalidad que puede no haber sido habilitada por un usuario.

5

Se apreciará que cualquier aparato/circuitería/elementos/procesador mencionados pueden tener otras funciones además de las funciones mencionadas, y que estas funciones pueden ser llevadas a cabo por el mismo aparato/circuitería/elementos/procesador. Uno o más aspectos divulgados pueden abarcar la distribución electrónica de programas informáticos asociados y programas informáticos (que pueden estar codificados por fuente/transporte) grabados en un soporte adecuado (por ejemplo, memoria, señal).

10

Se apreciará que cualquier "ordenador" descrito en la presente memoria puede comprender un conjunto de uno o más procesadores/elementos de procesamiento individuales que pueden estar situados o no en la misma placa de circuito, o la misma región/posición de una placa de circuito o incluso el mismo dispositivo. En algunas formas de realización, uno o más de cualesquiera de los procesadores mencionados pueden estar distribuidos sobre una pluralidad de dispositivos. Una o más de las funciones descritas en la presente memoria pueden ser llevadas a cabo por el mismo o diferentes procesadores/elementos de procesamiento.

15

Se apreciará que el término "señalización" puede referirse a una o más señales transmitidas en forma de una serie de señales transmitidas y/o recibidas. La serie de señales puede comprender uno, dos, tres, cuatro o incluso más componentes de señal individuales o señales distintas para constituir dicha señalización. Algunas o la totalidad de estas señales individuales se pueden transmitir/recibir simultáneamente, secuencialmente, y/o de tal manera que se solapen temporalmente entre sí.

20

En referencia a cualquier descripción de cualquier ordenador y/o procesador y memoria mencionados (por ejemplo, incluyendo una ROM, un CD-ROM, etc.), estos pueden comprender un procesador informático, un Circuito Integrado de Aplicación Específica (ASIC), una matriz de puertas programable in situ, (FPGA), y/u otros componentes de *hardware* que hayan sido programados de tal modo que lleven a cabo la función de la invención.

25

30

Por la presente memoria, el solicitante divulga de manera aislada cada característica individual descrita en la presente memoria y cualquier combinación de dos o más de estas características, en la medida en que dichas características o combinaciones pueden llevarse a cabo sobre la base de la presente memoria en su conjunto, teniendo en cuenta los conocimientos generales comunes de un experto en la materia, con independencia de si dichas características o combinaciones de características solucionan cualquiera de los problemas divulgados en la presente memoria, y sin limitaciones con respecto al alcance de las reivindicaciones. El solicitante indica que los aspectos/formas de realización divulgados pueden constar de cualesquiera de dichas características individuales o combinaciones de características. Teniendo en cuenta la descripción anterior, resultará evidente para alguien experto en la materia que pueden realizarse varias modificaciones dentro del alcance de la exposición.

35

40

Además, en las reivindicaciones las cláusulas de medios-más-función están destinadas a abarcar las estructuras descritas en la presente memoria como realizadoras de la función mencionada y no solamente equivalentes estructurales, sino también estructuras equivalentes. Así, aunque puede que un clavo y un tornillo no sean equivalentes estructurales por cuanto un clavo utiliza una superficie cilíndrica para afianzar piezas de madera entre sí, mientras que un tornillo utiliza una superficie helicoidal, en el marco de la fijación de piezas de madera, un clavo y un tornillo pueden ser estructuras equivalentes.

45

## REIVINDICACIONES

1. Aparato que comprende por lo menos un par de un primer (FET1) y un segundo (FET2) fotodetectores,

5 comprendiendo cada fotodetector del par de fotodetectores (FET1, FET2) un elemento de canal (402, 502),  
unos electrodos fuente (403, 503) y drenador (404, 504) respectivos configurados para posibilitar un flujo de  
corriente eléctrica a través del elemento de canal (402, 502) entre los electrodos fuente (403, 503) y drenador  
(404, 504), y una pluralidad de puntos cuánticos (406, 506) configurados para generar unos pares electrón-  
hueco (409, 410, 509, 510) al someterse a una exposición a radiación electromagnética incidente con el fin de  
10 producir un cambio detectable en la corriente eléctrica que fluye a través del elemento de canal (402, 502),

caracterizado por que el aparato está configurado de tal manera que el primer y el segundo fotodetectores  
(FET1, FET2) del par de fotodetectores generan unos pares electrón-hueco (409, 410, 509, 510) que producen  
un aumento y una reducción de la corriente eléctrica a través de los elementos de canal (402, 502)  
15 respectivamente, siendo el cambio combinado de la corriente eléctrica del par del primer y segundo  
fotodetectores (FET1, FET2) indicativo de la presencia y/o la magnitud de la radiación electromagnética  
incidente, y por que el primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2) del par de fotodetectores están  
dispuestos de modo que el cambio combinado de la corriente eléctrica se convierte en una señal de voltaje  
correspondiente.

20 2. Aparato según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de puntos cuánticos (406) comprende unos ligandos  
(408) unidos a los mismos que están configurados para posibilitar la transferencia o bien de electrones (409) o  
bien de huecos (410) de los pares electrón-hueco generados hacia el elemento de canal (402), dejando los  
portadores de carga restantes en los puntos cuánticos (406) para producir el cambio detectable de la corriente  
25 eléctrica.

3. Aparato según la reivindicación 2, en el que el primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2) del par de  
fotodetectores comprenden, de manera similar, unos elementos de canal dopados (402), y el que los ligandos  
(408) del primer fotodetector están configurados para posibilitar la transferencia de un tipo diferente de portador  
de carga al elemento de canal respectivo (402) en comparación con los ligandos (408) del segundo fotodetector  
30 con el fin de producir los cambios diferentes de la corriente eléctrica.

4. Aparato según la reivindicación 2, en el que el primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2) del par de  
fotodetectores comprenden unos elementos de canal (402) dopados inversamente, y en el que los ligandos (408)  
35 del primer fotodetector están configurados para posibilitar la transferencia del mismo tipo de portador de carga al  
elemento de canal (402) respectivo al igual que los ligandos del segundo fotodetector con el fin de producir los  
cambios diferentes en la corriente eléctrica.

5. Aparato según cualquier reivindicación anterior, en el que el primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2)  
40 del par de fotodetectores comprenden, cada uno de ellos, un electrodo de puerta (511) configurado para generar  
un campo eléctrico al producirse la aplicación de un voltaje (513) en el mismo, posibilitando el campo eléctrico  
generado la transferencia o bien de electrones (509) o bien de huecos (510) de los pares electrón-hueco  
generados al elemento de canal (402, 502) dejando los portadores de carga restantes en los puntos cuánticos  
(406, 506) con el fin de producir el cambio detectable en la corriente eléctrica.

45 6. Aparato según la reivindicación 5, en el que el primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2) del par de  
fotodetectores comprenden unos elementos de canal (402, 502) dopados similarmente, y en el que el voltaje  
(513) aplicado al electrodo de puerta (511) del primer fotodetector (FET1) presenta una polaridad inversa al  
voltaje (513) aplicado al electrodo de puerta (511) del segundo fotodetector (FET2), de tal manera que los  
campos eléctricos resultantes posibilitan la transferencia de los tipos diferentes de portador de carga a los  
50 elementos de canal (402, 502) respectivos con el fin de producir los cambios diferentes en la corriente eléctrica.

7. Aparato según la reivindicación 5, en el que el primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2) del par de  
fotodetectores comprenden unos elementos de canal (402, 502) dopados inversamente, y en el que el voltaje  
55 (513) aplicado al electrodo de puerta (511) del primer fotodetector presenta la misma polaridad que el voltaje  
(513) aplicado al electrodo de puerta (511) del segundo fotodetector, de tal manera que los campos eléctricos  
resultantes posibilitan la transferencia del mismo tipo de portador de carga a los elementos de canal (402, 502)  
respectivos con el fin de producir los cambios diferentes en la corriente eléctrica.

60 8. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7 en dependencia de cualquiera de las reivindicaciones 2  
a 4, en el que el electrodo de puerta (511) de uno o más del primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2) del  
par de fotodetectores está configurado de tal manera que el campo eléctrico generado por el voltaje aplicado  
(513) facilita o inhibe la transferencia de portadores de carga por parte de los ligandos (408) al elemento de canal  
(402, 502) respectivo.

65 9. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en el que el electrodo de puerta (511) de uno o más

del primer y del segundo fotodetectores (FET1, FET2) del par de fotodetectores está configurado de tal manera que el campo eléctrico generado por el voltaje aplicado (513) provoca un dopaje electrostático del elemento de canal (402, 502) respectivo.

5 10. Aparato según la reivindicación 1, en el que el primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2) del par de fotodetectores están dispuestos para formar un circuito de medio puente configurado para convertir el cambio combinado de la corriente eléctrica en una señal de voltaje simple.

10 11. Aparato según la reivindicación 1, en el que el aparato comprende por lo menos dos pares de un primer y un segundo fotodetectores (FET1, FET2) dispuestos para formar un circuito de puente completo configurado para convertir el cambio combinado de la corriente eléctrica en una señal de voltaje diferencial.

12. Procedimiento de uso de un aparato,

15 comprendiendo el aparato por lo menos un par de un primer y un segundo fotodetectores (FET1, FET2),

comprendiendo cada fotodetector del par de fotodetectores (FET1, FET2) un elemento de canal (402, 502), unos electrodos fuente (403, 503) y drenador (404, 504) respectivos configurados para posibilitar un flujo de corriente eléctrica a través del elemento de canal (402, 502) entre los electrodos fuente (403, 503) y drenador (404, 504), y una pluralidad de puntos cuánticos (406, 506) configurados para generar unos pares electrón-hueco (409, 410, 509, 510) al someterse a una exposición a radiación electromagnética incidente con el fin de producir un cambio detectable en la corriente eléctrica que fluye a través del elemento de canal (402, 502),

20 estando el procedimiento caracterizado por generar, por medio del primer y del segundo fotodetectores (FET1, FET2) del par de fotodetectores, unos pares electrón-hueco (409, 410, 509, 510) que producen un aumento y una reducción de la corriente eléctrica a través de los elementos de canal (402, 502) respectivamente, siendo el cambio combinado de la corriente eléctrica del par del primer y segundo fotodetectores (FET1, FET2) indicativo de la presencia y/o la magnitud de la radiación electromagnética incidente,

25 comprendiendo el procedimiento disponer el primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2) del par de fotodetectores de modo que el cambio combinado de la corriente eléctrica se convierte en una señal de voltaje correspondiente, y determinar la presencia y/o la magnitud de radiación electromagnética incidente sobre el aparato basándose en el cambio combinado de la corriente eléctrica del par del primer y el segundo fotodetectores (FET1, FET2) como consecuencia de la radiación electromagnética incidente.

30 13. Programa informático que comprende código de ordenador configurado para conseguir que el aparato de la reivindicación 1 lleve a cabo el procedimiento de la reivindicación 12.

Figura 1

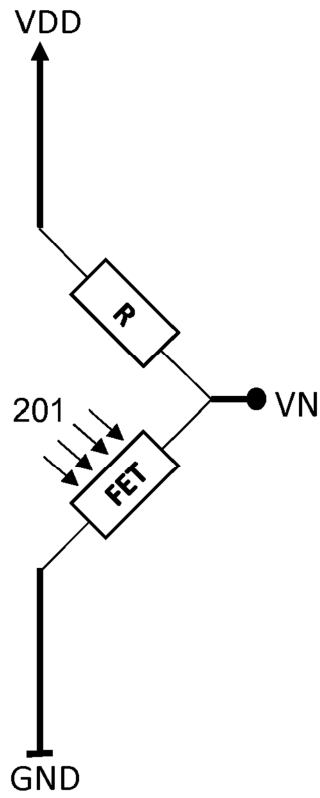


Figura 2

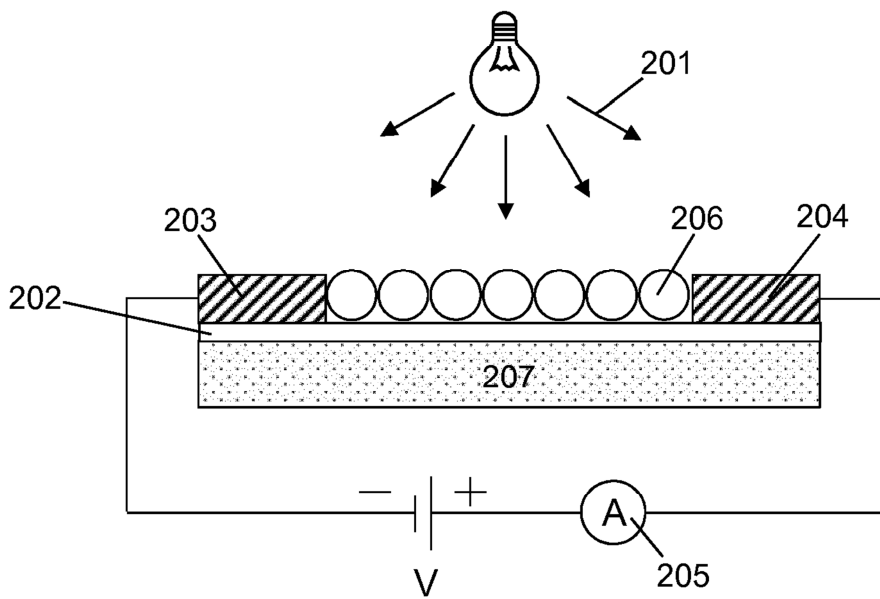


Figura 3

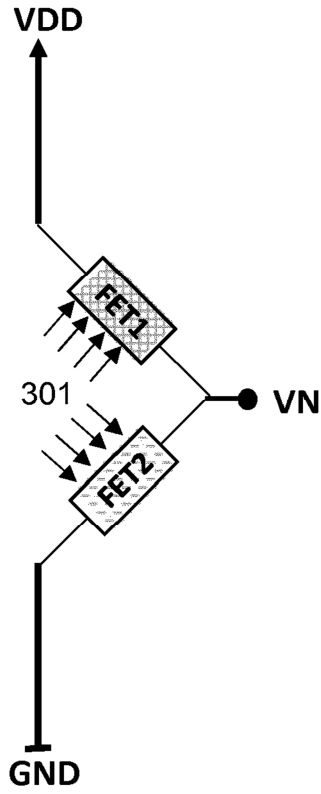


Figura 4

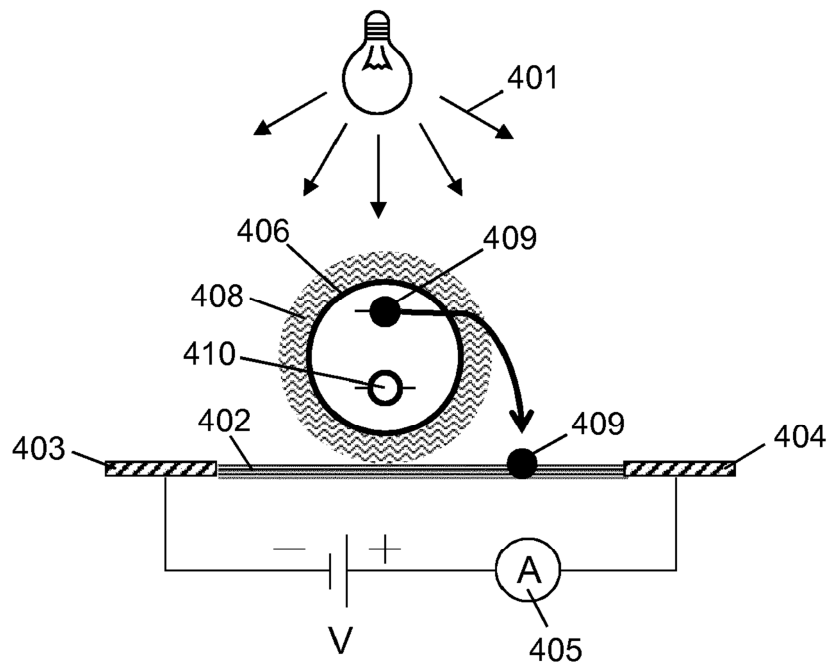


Figura 5

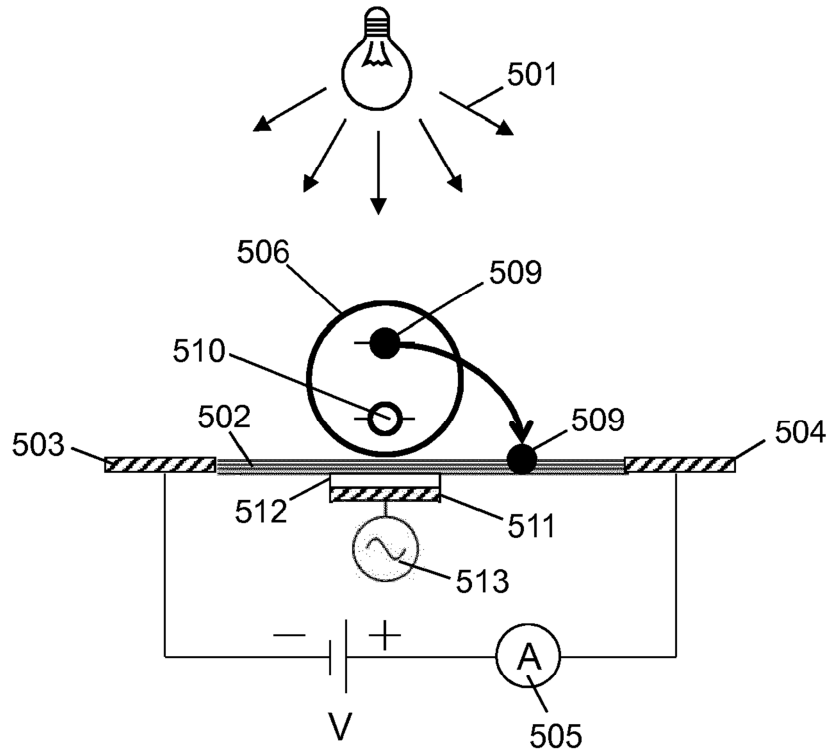


Figura 6

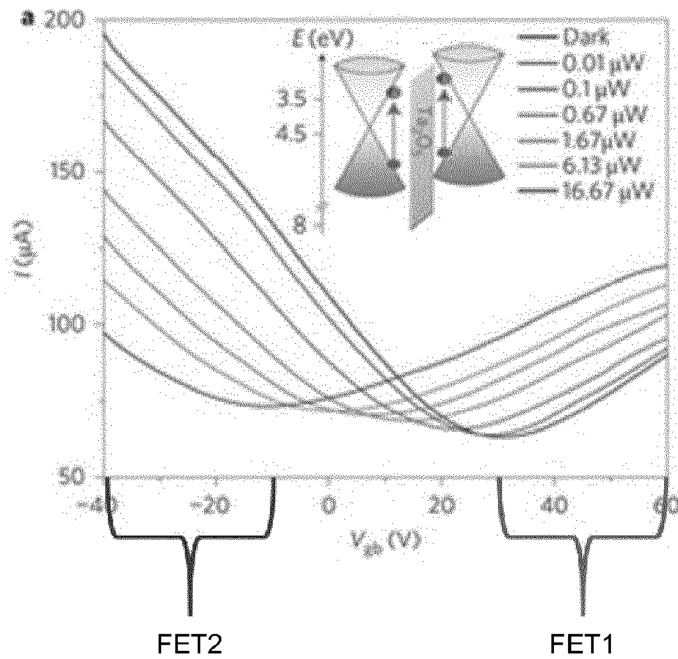


Figura 7

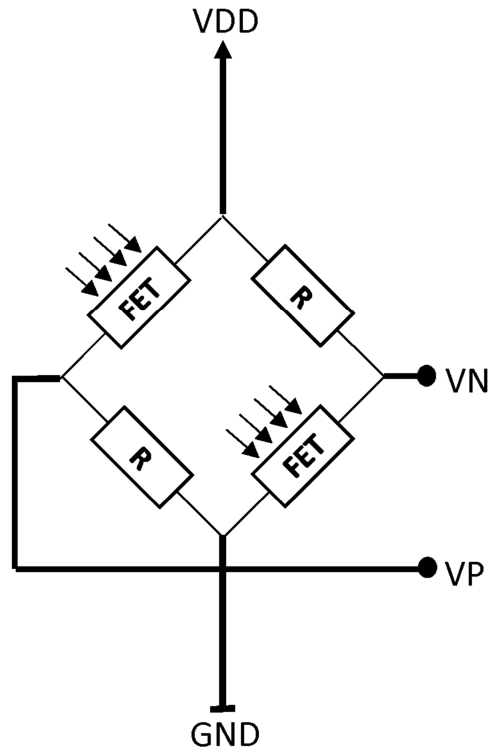


Figura 8

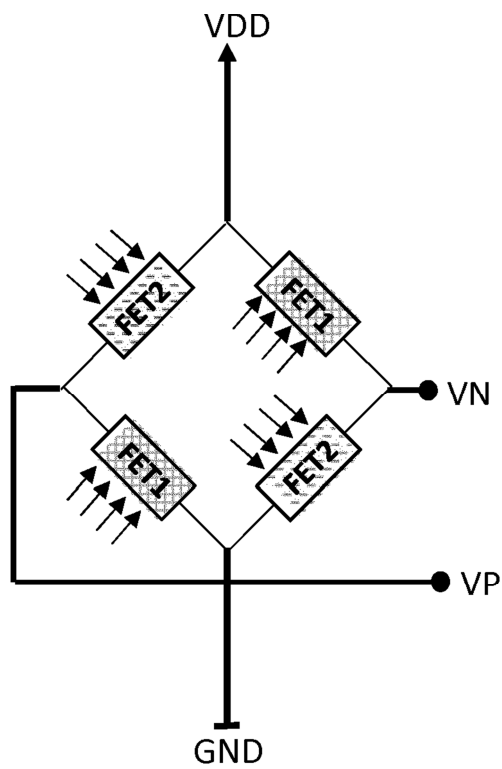




Figura 9

Señales

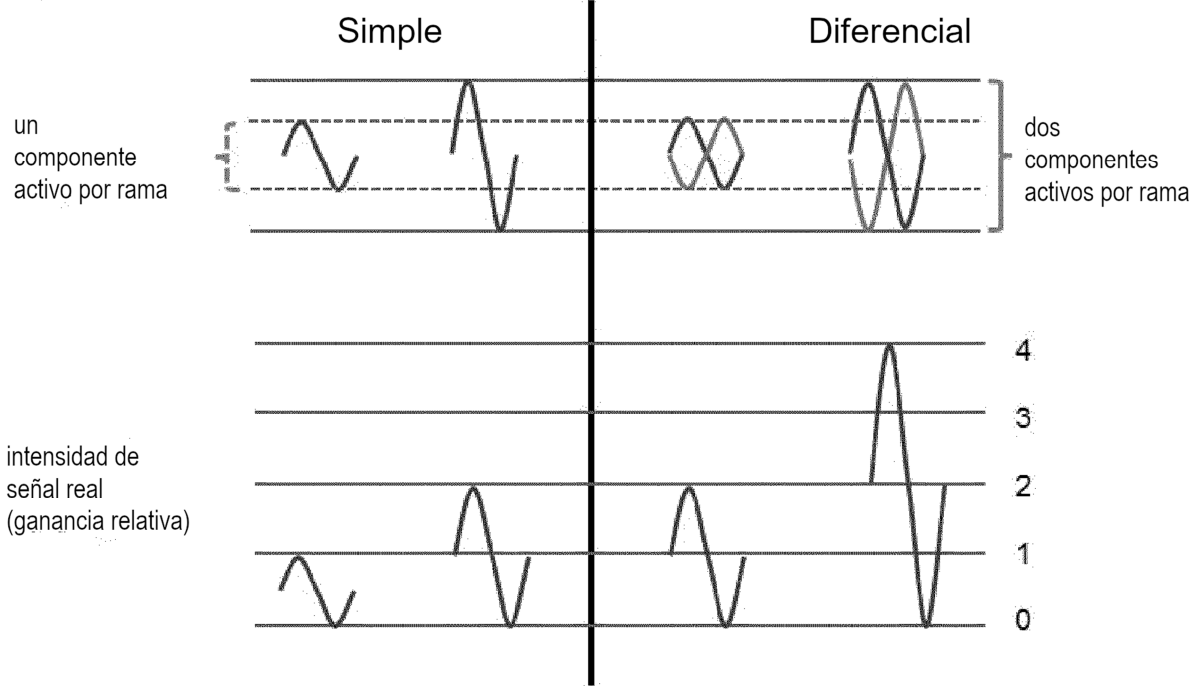


Figura 10

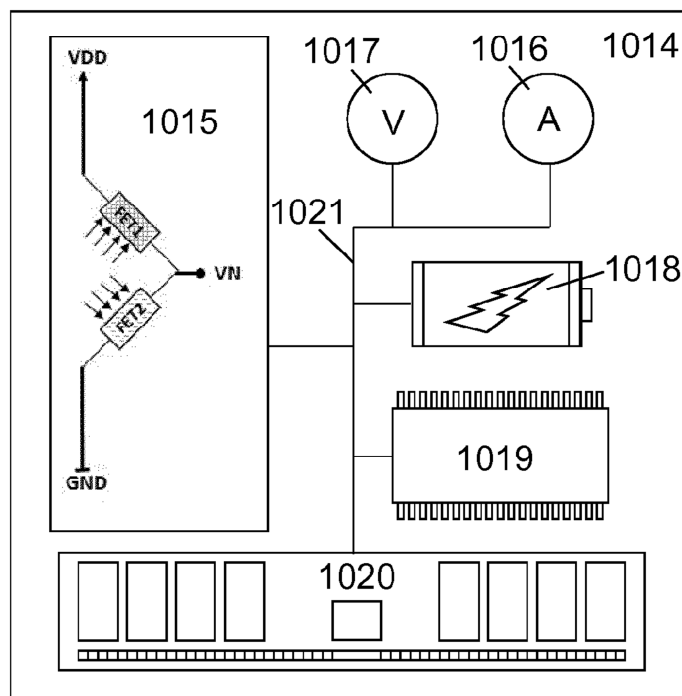


Figura 11

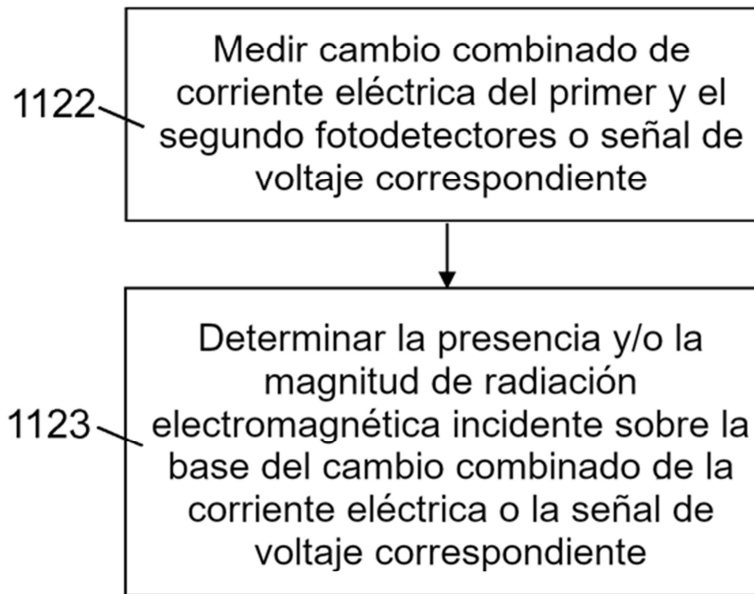


Figura 12

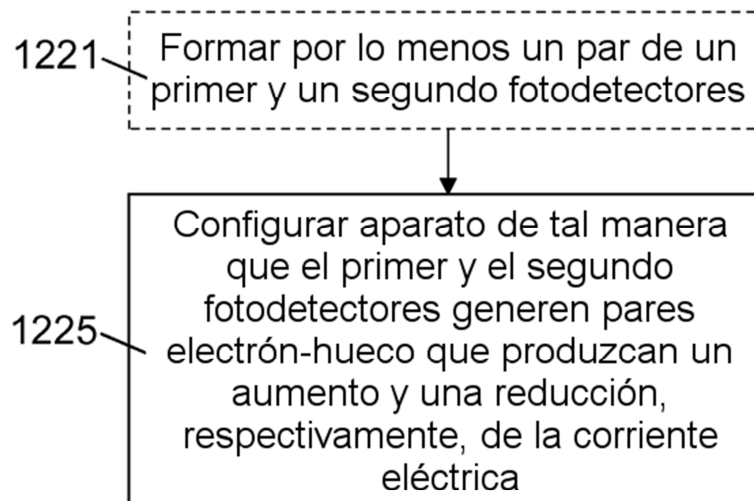


Figura 13

