(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional

(43) Fecha de publicación internacional
11 de enero de 2018 (11.01.2018)

W I P O I P C T

(10) Número de publicación internacional
WO 2018/007669 Al

(51) Clasificación internacional de patentes:
H01J 37/26 (2006.01) *H01L 31/08* (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES20 17/070489

(22) Fecha de presentación internacional:
06 de julio de 2017 (06.07.2017)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P 201630925 07 de julio de 2016 (07.07.2016) ES

(71) Solicitante: **CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGA¬CIONES CIENTÍFICAS (CSIC)** [ES/ES]; C/ Serrano, 117, 28006 Madrid (ES).

(72) Inventores: **CARMONA GALÁN, Ricardo;** INSTITUTO DE MICROELECTRONICA DE SEVILLA (IMSE,CNM), Avda. Americo Vespucio, s/n, Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla (ES). **CERVERA GONTARD, Lionel;** INSTITUTO DE MICROELECTRONICA DE SEVILLA (IMSE,CNM), Avda. Americo Vespucio, s/n, Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla (ES).

(74) Mandatario: **PONS ARIÑO, Ángel;** Glorieta de Rubén Darío, **4,** 28010 Madrid (ES).

(81) Estados designados *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible):* AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible):* ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,

(54) Title: ELECTRON SENSOR FOR ELECTRON MICROSCOPY

(54) Título: SENSOR DE ELECTRONES PARA MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA

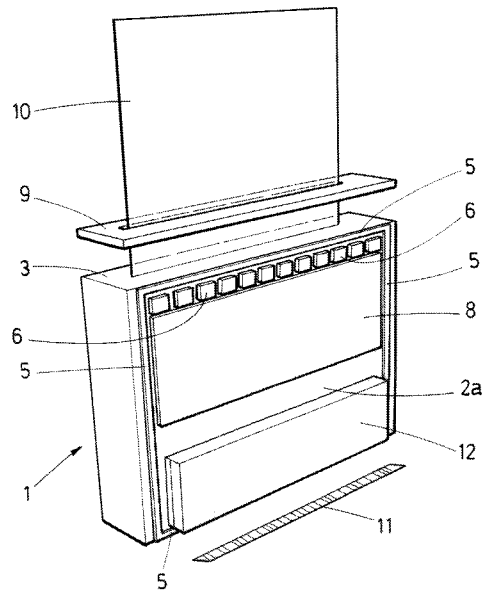


FIG.1

(57) Abstract: This invention consists of an electrón sensor (1) and a system with a plurality of electrón sensors (1) for electrón microscopy using an electrón microscope. More specifically, the electrón microscope generates an electrón beam (10) that comprises at least one electrón that impaets on a lateral reception surface (3) of said electrón sensor (1) and this generates an electrical charge of hole-electron pairs (h-e) that are detected and/or measured by at least electrodes (6, 7) linked to an electric circuit unit (12) to form a high dynamic range image (11) and measure the energy of the electrons impacting each pixel of the image.

(57) Resumen: La presente invención es un sensor de electrones (1), y un sistema con una pluralidad de sensores de electrones (1) para microscopía electrónica realizada mediante un microscopio electrónico. Más concretamente, el microscopio electrónico genera un haz de electrones (10) que comprende al menos un electrón que incide sobre una superficie de recepción lateral (3) de dicho sensor de electrones (1) y este genera una carga eléctrica de pares electrón-hueco (e-h) que son detectados y/o medidos por al menos electrodos (6,7) vinculados con una unidad de circuitería eléctrica (12) para formar una imagen (11) con elevado rango dinámico y medir la energía de los electrones incidentes en cada pixel de la imagen.

WO 2018/007669 A1

[Continúa en la página siguiente]

SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

SENSOR DE ELECTRONES PARA MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA

D E S C R I P C I Ó N

OBJETO DE LA INVENCIÓN

El objeto de la presente invención es un sensor de electrones para microscopía electrónica, y un sistema con una pluralidad de sensores de electrones para microscopía electrónica.

Por lo tanto, la presente invención se podría encuadrar en el campo de los sensores para detectar electrones utilizados en microscopios electrónicos de transmisión (TEM), en microscopios electrónicos de barrido (SEM) o en microscopios de barrido en transmisión (STEM).

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Actualmente, distintas aplicaciones en el ámbito de la microscopía electrónica detectan y acumulan electrones para generar imágenes, o espectros de energía. Estas imágenes, o espectros, son utilizados en el estudio de materiales en ciencia y tecnología.

Concretamente, estas aplicaciones están basadas en la irradiación de una muestra, con electrones acelerados a energías comprendidas entre 2 keV y 400 keV. Aunque menos frecuentes también existen microscopios electrónicos TEM que operan con electrones acelerados a altas energías de hasta 1.2 MeV.

Más concretamente, en los microscopios electrónicos de transmisión (TEM), estos electrones acelerados atraviesan el material que conforma una muestra, y por medio de lentes magnéticas, se generan imágenes ampliadas bidimensionales de la muestra y patrones de difracción (imágenes bidimensionales). Por otro lado, en aplicaciones TEM de espectrometría de electrones de pérdida de energía (EELS o EFTEM en sus acrónimos en inglés) se usa un filtro de energías fabricado con lentes electromagnéticas, con el que se obtiene un espectro de energía (imagen monodimensional), o una imagen filtrada en energía (imagen bidimensional) con información sobre la composición química de la muestra.

Con el fin de obtener las imágenes, los microscopios electrónicos comprenden sensores de electrones que se fabrican con semiconductores "pixelados". Es decir, semiconductores que en la superficie donde impactan unos fotones, o electrones, comprenden una pluralidad de componentes electrónicos discretos. Estos componentes electrónicos discretos están organizados a modo de matriz monodimensional, o bidimensional, para detectar los fotones, o electrones, en donde cada componente electrónico discreto se suele denominar "pixel". De este modo, los semiconductores "pixelados" detectan mediante cada "pixel" la posición de impacto de un electrón, o un fotón, en una, o dos, dimensiones espaciales.

Concretamente, los sensores de electrones "pixelados" que se emplean en TEM se fabrican con tecnología tipo CCD, o CMOS. Particularmente, los sensores CCD incluyen en cada "pixel" una parte sensora en la que inciden los electrones y otra parte de circuitería electrónica. Mientras, en los sensores CMOS la electrónica está distribuida en cada pixel, de modo que la electrónica es irradiada por los electrones del haz de electrones, haciéndola susceptible al daño por irradiación. En ambos casos, estas tecnologías son sensibles al daño por irradiación debido a las altas energías de los electrones usados en los microscopios electrónicos.

Otro problema para estas tecnologías CMOS, o CCD, es que los electrones son absorbidos en diferentes direcciones incluyendo la profundidad y el ancho del sensor de electrones. De este modo, la resolución efectiva del sensor de electrones se ve limitada, es decir se delimita la proximidad en la que se puede colocar cada "pixel". Esto es debido a que si dos "pixeles" adyacentes están demasiado cerca uno de otro, cuando un electrón impacta en un "pixel" también genera una señal que puede ser apreciable en los "pixeles" adyacentes. Este efecto es conocido como "charge sharing" o "cross-talk". De este modo, para que estos "pixeles" estén suficientemente separados y se pueda obtener una buena resolución espacial en microscopios electrónicos, el sensor de electrones tiene que ser muy grande.

Para evitar el primero de estos problemas, es decir el relacionado con la sensibilidad al daño por la irradiación, en TEM se suele emplear sensores CMOS, o CCD indirectos. En estos sensores el electrón no incide directamente en el semiconductor sino en un centellador que está acoplado ópticamente al sensor, y que tras el impacto genera una cascada de fotones, es decir estos electrones son convertidos a fotones. Estos fotones

de baja energía, dentro del espectro visible, son los que se miden en el sensor de fotones "pixelado". Como contrapartida, esta detección indirecta de los electrones convertidos en fotones no soluciona el problema de "charge sharing" o "cross-talk" y degrada la operación del sensor, afectando a algunas de sus características técnicas tal como la eficiencia cuántica de detección (DQE) y la función de transferencia de modulación (MTF). Como resultado de esto, la calidad de las imágenes empeora, y es necesario aumentar el tiempo de exposición para formar unas imágenes con una razón señal-ruido adecuada. Este aumento del tiempo de exposición es contraproducente para examinar muchos tipos de muestra, como por ejemplo las muestras biológicas, que son muy susceptibles de alterar su estructura atómica durante el proceso de observación en un experimento con TEM.

Recientemente, con el fin de evitar todos estos problemas, se han desarrollado sensores CMOS para su uso directo, es decir, capaces de medir electrones sin necesidad de fotoconversión en microscopios electrónicos de transmisión. Estos nuevos sensores CMOS se basan en una combinación de técnicas conocidas tales como: el empleo de tecnologías de fabricación submicrométricas, "layout radhard" y retroiluminación para mejorar la resistencia de la parte de circuitería electrónica en los pixeles a daños por irradiación y para aumentar el factor de relleno o "fill factor". Así como tecnologías de adelgazamiento del substrato del sensor de electrones para mejorar la resolución espacial del sensor, al reducir el problema de "charge sharing".

También se emplea la tecnología "Silicon-on-Insulator" que permite mayores adelgazamientos del substrato respecto a la tecnología CMOS convencional.

En cualquiera de estos casos, el proceso de adelgazamiento de los sensores de electrones es complejo, y hace que los sensores CMOS, o CCD, sean muy frágiles. Esto también reduce el "yield" de fabricación y encarece el proceso. Por otro lado, a pesar del "layout radhard", estos sensores CMOS, o CCD, son aún susceptibles a daños por irradiación cuando se emplean haces de electrones de altas energías, o con altas densidades de corriente. Por tanto, en su aplicación en TEM suelen ir acompañados de sistemas de protección adicional para controlar la dosis de irradiación.

Más concretamente, cuando se emplean los sensores CMOS, o CCD, para capturar imágenes de patrones de difracción, que suelen estar formadas por puntos discretos

distribuidos en la imagen con una alta densidad de corriente de electrones, estos sensores son aún más susceptibles a ser dañados por irradiación.

Otro tipo de sensores directos son del tipo CMOS, o CCD, híbridos en los que para evitar el daño por irradiación con electrones, utilizan un sensor "pixelado" que se separa de la circuitería electrónica por medio de la técnica "bump-bonding". En este caso, el "fill factor", es decir el ratio entre el área con "pixels" del sensor y su área total, es del 100%. Además, los electrones son completamente absorbidos en el sensor de electrones de modo que la circuitería electrónica no se daña por la irradiación. A pesar de esto, esta tecnología híbrida no es una tecnología convencional, el número de pixeles es limitado debido a su propia tecnología de fabricación, y adicionalmente presenta problemas de "charge sharing" debido a que el sensor no se puede adelgazar lo que implica menor resolución espacial.

Finalmente, también se han propuesto sensores de electrones realizados con tecnología SSD ("silicon strip detectors"), en donde la superficie del sensor de electrones perpendicular al haz de electrones que lo impacta contiene una pluralidad de electrodos extendidos a modo de bandas de silicio paralelas y separadas entre sí formando una, o dos capas. En este tipo de sensores de electrones los electrones pueden incidir directamente sobre el sensor.

Como contrapartida, este tipo de sensor SSD reduce el "fill factor" del sensor de electrones y su substrato tiene que ser adelgazado por debajo de las 50 μηι para tener una resolución espacial adecuada para microscopios electrónicos. Además, no se fabrican con tecnología convencionales. Todo esto conlleva un proceso caro, complejo que vuelve al sensor muy delicado al poder romperse con más facilidad reduciendo el "yield" de fabricación.

Un último problema, se refiere al rango dinámico de los sensores de electrones "pixelados", es decir la amplitud del rango de valores de intensidad que puede medirse en cada "pixel". En los sensores que reciben los electrones directamente se puede obtener un rango dinámico infinito, contando el número de electrones que impactan en cada "pixel" en un intervalo de tiempo. Pero esto no es práctico cuando las intensidades en un "pixel" son muy elevadas ya que la electrónica no es capaz de procesar los sucesivos impactos con la velocidad suficiente. En tales situaciones hay que operar los detectores en modo integrador, es decir se mide en cada pixel la suma de la carga generada por un

gran número de impactos y no cada impacto individual. Ese valor medido en modo integrador es un valor analógico que es necesario digitalizar, con un rango dinámico que viene determinado por el número de bits del conversor analógico-digital empleado. En los detectores "pixelados" actuales, cada pixel solo tiene un conversor analógico-digital con un rango dinámico típico de 12 bits. Este rango es insuficiente en TEM cuando se toman imágenes bidimensionales de patrones de difracción. Como resultado en algunos pixeles de la imagen las intensidades se salen del rango dinámico y no se captura su valor real.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención describe un sensor de electrones para microscopía electrónica realizada mediante un microscopio electrónico, en donde el sensor de electrones comprende un substrato, con un plano anterior y un plano posterior paralelos entre sí, que está destinado a absorber al menos un electrón de un haz de electrones que atraviesa una muestra y que es generado por el microscopio electrónico, y este electrón es susceptible de generar una carga eléctrica de pares electrón-hueco (e-h) libres en dicho substrato.

Más concretamente, el sensor de electrones comprende:

- una superficie de recepción lateral, situada en uno de los laterales del substrato para recibir perpendicularmente el haz de electrones,
- una unidad de guardia, con un plano inferior y un plano superior, depositado en el plano anterior bordeando paralelamente al menos la superficie de recepción lateral atravesada por el haz de electrones, para evitar corrientes de fuga en el borde del substrato,
- una unidad de base, con un plano inferior y un plano superior, depositado en el plano anterior a continuación de la unidad de guardia, destinada a medir la energía de los electrones que impactan en la superficie de recepción lateral,
- una unidad de entrada, con un plano inferior y un plano superior, depositado en el plano anterior entre el plano inferior de la unidad de guardia y el plano superior de la unidad de base para detectar el punto de entrada de los electrones del haz de electrones,
- una unidad de contacto, depositada en el plano posterior, y
- una unidad de circuitería electrónica, situada a continuación de la unidad base y vinculada con al menos la unidad de base, la unidad de contacto y la unidad de

entrada, que comprende un generador eléctrico y circuito eléctrico.

En donde, dicho generador eléctrico genera una corriente de polarización eléctrica, entre el plano anterior y el plano posterior, que arrastra los electrones libres generados en el substrato hacia a la unidad base y/o la unidad de entrada, y arrastra los huecos libres generados en el substrato hacia la unidad de contacto; permitiendo que los electrones y los huecos sean capturados por sus respectivas unidades y acondicionado y procesando los electrones libres por un circuito electrónico comprendido en dicha unidad de control para formar una imagen monodimensional o bidimensional con mayor rango dinámico y para medir la energía de los electrones que forman la imagen.

Más concretamente, la unidad de entrada comprende una serie de electrodos de entrada, o "pixeles", separados entre sí, y el plano inferior de la unidad de guardia comprende al menos un electrodo de guardia con una pluralidad de hendiduras adecuadas para alojar el plano superior de la serie de electrodos de entrada sin contactar directamente con estos.

Más concretamente, la unidad de base está destinada a reducir el "cross-talk" entre electrodos de entrada adyacentes, así como para medir la energía de los electrones que impactan en el substrato.

Adicionalmente, el plano superior de la unidad de base comprende un electrodo base con una pluralidad de hendiduras adecuadas para alojar el plano inferior de la serie de electrodos de entrada sin contactar directamente con estos.

Preferentemente, la zona de unión entre el plano inferior de la unidad de entrada y el plano superior de la unidad de base comprende una unidad de medida energética para incrementar la precisión de la medida de la energía de los electrones que atraviesan la serie de unidad de entrada.

Dicha unidad de medida energética comprende una serie de electrodos de medida energética.

Preferentemente, cada electrodo de medida energética comprende una superposición de electrodos de medida de configuración sensiblemente ovalada.

Cabe destacar que la unidad de entrada, la unidad de contacto y la unidad de base se conectan a una unidad de circuitería electrónica mediante pistas depositadas sobre el substrato de contactos con alta conductividad eléctrica por ejemplo aluminio, oro o polisilicio.

Alternativamente, la unidad de entrada, la unidad de contacto, la unidad de medida energética y la unidad de base se conectan a una unidad de circuitería electrónica mediante pistas depositadas sobre el substrato de un contacto con alta conductividad eléctrica por ejemplo aluminio, oro o polisilicio.

Más concretamente, el electrodo base, cada electrodo de entrada y cada electrodo de la superposición de electrodos de medida energética están conectados, mediante unas pistas depositadas sobre el substrato de un contacto con alta conductividad eléctrica por ejemplo aluminio, oro o polisilicio.

Dicha unidad de circuitería electrónica está alejada de la unidad base para evitar su exposición a la radiación de los electrones y a la radiación secundaria generada en el substrato.

Dicha unidad de circuitería electrónica permite medir la posición de impacto y la energía de los electrones de al menos dos formas distintas.

La unidad de circuitería puede medir en modo conteo de posición, donde cuenta cuantos electrones impactan en cada electrodo de entrada, de este modo puede conocer en que parte de la superficie lateral de recepción impactan los electrones y el número de impactos. Adicionalmente, la unidad de circuitería puede medir en modo integrador de posición, donde suma la carga total liberada por los electrones que impactan en cada electrodo de entrada durante un tiempo determinado y conociendo en que parte de la superficie lateral de recepción han impactado. En ambos casos, la carga eléctrica generada en el sensor y que no es capturada por el electrodo de entrada (punto de impacto del electrón) es capturada por los electrodos de medida energética y/o por el electrodo base. De este modo, se reduce el "cross-talk" entre los electrodos de entrada vecinos en la dirección lineal del sensor.

Adicionalmente, la unidad de circuitería puede medir en modo conteo e integrador, donde

mide el número de electrones que impactan en cada electrodo de entrada conociendo en que parte de la superficie lateral de recepción, a la vez que integra, es decir suma la carga total liberada por los electrones que impactan en cada electrodo de medida energética durante un tiempo determinado.

Alternativamente, la unidad de circuitería puede medir en modo integrador doble, donde suma la carga total liberada por los electrones que impactan en cada electrodo de entrada y en cada electrodo de medida energética durante un tiempo determinado y conociendo en que parte de la superficie lateral de recepción se produce el impacto.

Preferentemente, los electrodos de todas las unidades de los planos posterior y anterior del substrato están realizados con materiales dopantes difundidos en el substrato. Más concretamente, las difusiones de dopantes tipo "p" o tipo "n" de las caras posterior y anterior del substrato respectivamente y el dopado del substrato constituyen un "array" de diodos con uniones pn.

De este modo, mediante dicha unidad de circuitería se aplica una tensión de polarización entre los electrodos de las caras posterior y anterior del substrato para que los "diodos" estén polarizados en inversa creando en el substrato una zona de deplexión.

Hay que destacar que el sensor de electrones propuesto es preferentemente un sensor lineal, es decir está formado por una sola línea, o vector de electrodos para medir una imagen monodimensional o bidimensional, y permite medir la energía de los electrones incidentes en cada pixel de la imagen.

Preferentemente, este sensor de electrones puede fabricarse con técnicas litográficas convencionales y la circuitería electrónica por medio de tecnología microelectrónica CMOS. Más concretamente, puede fabricarse mediante tecnología CMOS estándar, de modo que mientras en una zona del substrato se fabrica la unidad de circuitería electrónica, en el otro extremo sólo se fabrican las unidades que comprenden los distintos electrodos.

Adicionalmente, este sensor de electrones permite su uso como detector "pixelado" directo de los filtros de energía que son empleados en aplicaciones de espectrometría de electrones de pérdida de energía (EELS o EFTEM en sus acrónimos en inglés). En el

caso de EELS el sensor mide el espectro de energía monodimensional dispersado por el filtro de energías. En el caso de EFTEM el sensor se emplea para formar imágenes bidimensionales en un rango específico de energía.

Adicionalmente, al disponer cada pixel del sensor de varios electrodos a distintas profundidades (electrodo de entrada y electrodos de medida energética) para medir la carga generada por el impacto de un electrón, es posible medir la energía del electrón incidente sin necesidad de emplear un filtro de energías.

De este modo, se obtiene un sensor de electrones resistente a los daños por irradiación, que puede medir de forma directa los electrones que impactan sobre él con una alta resolución espacial y energética.

Igualmente, al disponer en cada pixel no sólo de uno sino de varios electrodos a distintas profundidades (electrodo de entrada y electrodos de medida energética), es posible medir la carga generada por el impacto de los electrones en un tiempo determinado (modo integrador) usando más de un electrodo en cada y obtener así un mayor rango dinámico del sensor comparado con los detectores pixelados existentes.

Otra ventaja de este sensor de electrones es que permite formar dichas imágenes bidimensionales en un microscopio TEM barriendo el haz de electrones por medios electromagnéticos y capturando la imagen línea a línea. Esto es una diferencia respecto a las tecnologías de sensores utilizados en aplicaciones de formación de imágenes con fotones ópticos, o rayos X, que son partículas sin carga eléctrica y por tanto no son susceptibles de ser escaneadas barriendo el haz por medios electromagnéticos.

Adicionalmente, dicho sensor de electrones al estar formado por una sola línea de electrodos de entrada, el problema de "charge sharing" se elimina en la dirección transversal del sensor.

Por otro lado, debido a que la superficie de recepción lateral no contiene electrodos, el "fill factor" del diseño de sensor de electrones propuesto aquí es del 100%. Esto permite detectar impactos de electrones entre dos electrodos de entrada empleando para ello técnicas de promediado de señal entre electrodos de entrada adyacentes, conocidas como técnicas subpixel, y de este modo incrementar la resolución efectiva del sensor.

A modo de resumen, este sensor de electrones es de fácil fabricación y permite generar imágenes monodimensionales o bidimensionales con mayor rango dinámico, así como medir la energía del electrón con electrodos a distintas profundidades del substrato, sin que la electrónica para control y procesamiento de las señales del sensor esté expuesta a la irradiación del haz de electrones.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra una vista en perspectiva de una realización preferente del sensor de electrones.

Figura 2.- Muestra una vista lateral esquemática de la realización preferente del sensor de electrones.

Figura 3a.- Muestra una vista esquemática en detalle de la posición de los electrodos.

Figura 3b.- Muestra una vista esquemática en detalle de la posición de los electrodos en donde un haz de electrones impacta sobre la superficie de recepción lateral.

Figura 4.- Muestra una vista esquemática en detalle de las conexiones de los electrodos.

Figura 5a.- Muestra una vista esquemática de una primera configuración de varios sensores de electrones colocados en paralelo.

Figura 5b.- Muestra una vista esquemática de una segunda configuración de varios sensores de electrones colocados en paralelo.

Figura 5c- Muestra una vista esquemática de una tercera configuración de varios sensores de electrones colocados en paralelo.

Figura 5d.- Muestra una vista esquemática de una cuarta configuración de varios sensores de electrones colocados en paralelo.

Figura 5e.- Muestra una vista esquemática de una quinta configuración de varios sensores de electrones colocados en paralelo.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN

En una realización preferente de la invención, tal y como se muestra en las figuras 1 y 2, el sensor de electrones (1), para microscopía electrónica TEM, comprende un substrato (2) de silicio que recibe perpendicularmente, mediante una superficie de recepción lateral (3), un haz de electrones (10) proveniente de atravesar una muestra, no representada, a investigar. En donde dicho haz de electrones (10) es producido por el microscopio TEM, y comprende al menos un electrón con una carga eléctrica y una energía. Para formar una imagen (11) se miden la posición de impacto y/o energía de un gran número de electrones del haz de electrones (10).

El substrato (2) comprende un plano posterior (2p) y un plano anterior (2a) paralelos entre sí, y perpendiculares a la superficie de recepción lateral (3). Sobre dicho plano posterior (2p) se deposita una unidad de contacto, y sobre su plano anterior (2a) se depositan por orden de menor a mayor distancia con la superficie de recepción lateral (3): una unidad de guardia, una unidad de entrada, una unidad de medida energética, una unidad de base y una unidad de circuitería electrónica (12).

Preferentemente, el substrato (2) presenta un grosor entre 300 y 600 μηι, y está realizado en silicio ligeramente dopado tipo p de resistividad entre 2 y 10 kQ.

Cuando este haz de electrones (10) impacta sobre la superficie de recepción lateral (3), los electrones del haz de electrones (10) van perdiendo energía por medio de la generación de una carga libre de pares electrón-hueco (e-h) en el silicio del substrato (2). La generación de un par electrón-hueco en silicio requiere 3,6 eV de modo que un sólo electrón de 100 keV que impacta en la superficie de recepción lateral (3) genera aproximadamente 27.777 pares e-h.

Cabe descartar que cuando el electrón impacta en la superficie de recepción lateral (3),

éste describe una trayectoria aleatoria y pierde energía a medida que va generando una carga libre de pares e-h. Este electrón finalmente es totalmente absorbido por el substrato (2) a una distancia que puede estar cientos de micrómetros alejada de la superficie de recepción lateral (3) es decir del punto de impacto. Por tanto, cada electrón que impacta acaba absorbido en algún punto de una zona habitualmente llamada volumen de interacción. Este volumen de interacción suele tener la forma de una pera, tal y como se muestra esquemáticamente en la figura 2 y en la figura 3b, y su tamaño depende de la energía inicial del electrón.

Más concretamente, previamente a impactar sobre la superficie de recepción lateral (3) dicho haz de electrones (10) atraviesa una máscara (9) opaca a los electrones, preferentemente fabricada en platino, con una hendidura que se extiende a lo ancho del sensor de electrones (1). Más concretamente esta hendidura presenta un ancho igual al pitch entre "pixeles" de la unidad de entrada, y preferentemente se encuentra cercana a la superficie de recepción lateral (3). De este modo, la máscara (9) define el ancho efectivo del "pixel" en la dirección del grosor del substrato (2).

Preferentemente, tal y como muestran las figuras 1, 2 y 3a, la unidad de contacto que comprende un electrodo de contacto (4) ocupa sustancialmente la totalidad del ancho del plano posterior (2p) y tiene una altura máxima de 400 μηι. Dicho electrodo de contacto (4) es una deposición de silicio dopado tipo p+ destinada a capturar los huecos libres generados en el substrato (2) por el impacto de dicho electrón del haz de electrones (10) y que son arrastrados por un campo eléctrico de polarización hacia el plano posterior (2p).

Preferentemente, la unidad de guardia comprende un electrodo de guardia (5). El electrodo de guardia (5) es depositado de modo que se extiende a lo ancho y largo del substrato (2), bordeando todo el plano anterior (2a). Su geometría sustancialmente es un conjunto de tiras a modo de cuatro tiras que forman un marco, en donde el lado más próximo a la superficie de recepción lateral (3) presenta una pluralidad de hendiduras. Dicho electrodo de guardia (5) es una deposición de silicio dopado tipo n con una altura de 2 μηι destinada a capturar los electrones libres generados en el substrato (2) por el impacto de dicho electrón del haz de electrones (10) y que son arrastrados por el campo eléctrico de polarización hacia el plano anterior (2a).

La unidad de entrada comprende una serie de electrodos de entrada (6) preferentemente de configuración rectangular y separados entre sí, para captar el punto concreto de impacto de los electrones del haz de electrones (10) en la superficie de recepción lateral (3). Dichos electrodos de entrada (6) son deposiciones de silicio dopado tipo n destinadas a capturar los electrones libres generados en el substrato (2) por el impacto de dicho electrón del haz de electrones (10) y que son arrastrados por el campo eléctrico de polarización hacia el plano anterior (2a).

Concretamente, los electrodos de entrada (6) presentan una configuración sensiblemente rectangular con una altura de 10 a 70 μηι y un ancho de 4 a 20 μηι. Más concretamente, su plano superior resulta alojado en dicha pluralidad de hendiduras del electrodo guardia (5). Cada uno de los estos electrodos de entrada (6) están separado del contiguo por una distancia comprendida entre 10 a 50 μηι. Cabe destacar que cada hendidura del electrodo de guardia (5) presenta una altura de al menos 1 μηι y un ancho de al menos 6 μηι, en donde dicho ancho siempre es al menos 1 μηι superior al ancho del electrodo de entrada (6) que aloja, de modo que nunca están en contacto directo, tal y como se puede ver en la figura 3a.

Por otro lado, el número electrodos de entrada (6) determina la resolución espacial del sensor de electrones (1). De este modo, en ésta realización preferentemente, el número de electrodos de entrada (6) o "pixeles" es igual a 2048, el ancho de cada electrodo de entrada (6) es de 10 μηι y la altura es de 50 μηι, y la separación entre cada eje vertical central de cada electrodo entrada (6) es de 25 μηι. Por lo tanto, el ancho del sensor de electrones (1) es de al menos 51.200 μηι. Cabe destacar que estos 2048 electrodos de entrada (6) no han sido representados en su totalidad en las figuras para facilitar la comprensión de las mismas.

Preferentemente, el plano inferior de cada uno de los electrodos de entrada (6), están alojados en una pluralidad de receptáculos de la unidad de base. Es decir, la unidad de base comprende un electrodo base (8) con dicha pluralidad de receptáculos que cubren parcialmente cada uno de los electrodos de entrada (6).

Más concretamente, este electrodo base (8) se extiende a todo lo ancho del plano anterior (2a) y presenta una altura comprendida entre 100 y 400 μηι. Cabe destacar que el tamaño de estos receptáculos es variable, pero preferentemente presentan una

configuración sensiblemente ovalada con una altura comprendida entre 10 y 150 μηι, y un ancho comprendido entre 10 y 35 μηι. Preferentemente, el electrodo base (8) comprende una altura de 200 μηι, y cada receptáculo presenta una altura 50 μηι y un ancho de 20 μηι. Dicho electrodo de base (8) es una deposición de silicio dopado tipo n destinada a capturar los electrones libres generados en el substrato (2) por el impacto de dicho electrón del haz de electrones (10) y que son arrastrados por el campo eléctrico de polarización hacia el plano anterior (2a).

Cabe destacar que por cada electrodo de entrada (6) el electrodo de guardia (5) presenta una hendidura, y el electrodo base (8) presenta un receptáculo.

En esta realización preferente, tal y como se muestra con mayor detalle en la figura 3a, en la zona de unión entre cada electrodo de entrada (6) y el electrodo base (8), es decir la zona entre el plano inferior de los electrodos de entrada (6) y el plano superior del electrodo base (8), el sensor de electrones (1) comprende la unidad de medida energética. Esta unidad de medida energética a su vez comprende un electrodo de medida energética (7) por cada electrodo de entrada (6). Estos electrodos de medida energética (7) incrementan la precisión de la medida de la energía de los electrones que atraviesan la serie de electrodos de entrada (6). Concretamente, estos electrodos de medida energética (7) son rodeados por el electrodo base (8) y tienen forma sensiblemente ovalada con una altura comprendida entre 10 y 20 μηι, y un ancho comprendido entre 20 y 30 μηι. Preferentemente, cada electrodo de medida energética (7) comprende una altura de 20 μηι y un ancho de 20 μηι. Dichos electrodos de medida energética (7) son deposiciones de silicio dopado tipo n destinadas a capturar los electrones libres generados en el substrato (2) por el impacto de dicho electrón del haz de electrones (10) y que son arrastrados por el campo eléctrico de polarización hacia el plano anterior (2a). De este modo, tal y como se muestra en la figura 3b se incrementa la precisión del sensor de electrones para medir la carga (y por tanto la energía) generada en el substrato por los electrones incidentes (1).

Más concretamente en la figura 3b, se muestra la probabilidad de que los electrones del haz de electrones (10) sean absorbidos a diferentes profundidades en el substrato (2). Adicionalmente, esta figura 3b muestra mediante que electrodo o electrodos (6, 7, 8) la carga generada por el electrón a lo largo de su trayectoria a través del substrato (2) será detectada. De este modo, se puede comprobar como el sensor de electrones (1) detecta

con gran precisión donde inciden los electrones mediante el electrodo de entrada (6). Adicionalmente, este sensor de electrones (1) permite medir la energía del electrón del haz de electrones (10) detectando la carga libre de pares e-h generada a distintas profundidades, mediante los electrodos (6, 8), (7, 8) o (6,7,8). Estos electrodos (6, 7, 8) detectan la profundidad y la distribución lateral a la que se absorben los electrones en el substrato (2), siendo tanto la profundidad como la distribución lateral proporcional a la energía inicial de los electrones.

Cabe destacar que la distancia entre cada electrodo (5, 6, 7, 8) del plano anterior (2a) está comprendida entre 1 y 2 μηι. Más concretamente, estas zonas de separación se encuentran en los siguientes electrodos (5, 6, 7, 8):

- entre cada hendidura del electrodo guardia (5) y cada electrodo de entrada (6),
- entre cada electrodo guardia (5) y el electrodo base (8),
- entre cada electrodo de entrada (6) y cada receptáculo del electrodo base (8),
- entre cada electrodo de entrada (6) y cada electrodo de medida energética (7),
- entre cada electrodo de medida energética (7) y cada receptáculo del electrodo base (8).

Adicionalmente, el electrodo base (8), cada electrodo de entrada (6) y cada electrodo de medida energética (7) están conectados, mediante unas pistas de metal (13, 13', 13") por lo general de aluminio depositadas sobre el substrato (2), a una unidad de circuitería electrónica (12) insertada en el plano anterior (2a) del substrato (2) a continuación del electrodo base (8), tal y como se muestra de forma esquemática en la figura 4. Adicionalmente, electrodo de contacto (4) también está conectado a la unidad de circuitería electrónica (12) mediante una pista de metal no representada.

Dicha unidad de circuitería electrónica (12) comprende un generador eléctrico para generar una tensión de polarización entre los electrodos (5, 6, 7, 8) del plano anterior (2a) y el electrodo de contacto (4) del plano posterior (2p). Concretamente, los electrodos (5, 6, 7, 8) están a un potencial de polarización negativo respecto al electrodo de contacto (4). De este modo, la tensión de polarización genera un campo eléctrico que sirve para arrastrar los huecos o los electrones libres de los pares e-h generados en el substrato (2) hacia el plano posterior (2p) o hacia el plano anterior (2a).

Más concretamente, los electrones libres de los pares e-h generados por el impacto de un electrón son arrastrados hacia los electrodos (5,6, 7, 8) del plano anterior (2a) y los huecos son arrastrados hacia el único electrodo de contacto (4) del plano posterior (2p) del sensor de electrones (1). Este movimiento de cargas induce una corriente eléctrica en los electrodos (4, 5, 6, 7, 8) que a través de unas pistas de metal (13, 13', 13") depositadas sobre el substrato (2) es medida en la unidad de circuitería electrónica (12).

Más concretamente, la unidad de circuitería electrónica (12) comprende al menos un circuito electrónico para acondicionar y procesar la información captada por los electrodos (5, 6, 7, 8) por el impacto de al menos un electrón del haz de electrones (10) recibido en la superficie de recepción lateral (3).

Preferentemente, varios sensores de electrones (1) son colocados en paralelo con diferentes configuraciones para obtener diferentes ventajas, así como para generar imágenes bidimensionales formadas por la adición de forma sucesiva de líneas monodimensionales medidas por cada uno de los sensores de electrones (1).

La primera configuración de varios sensores de electrones (1) en paralelo, se muestra en la figura 5a, donde se vinculan tres sensores de electrones (1) distanciados entre sí. Cada uno de estos sensores de electrones (1) presenta unas dimensiones de los electrodos (4, 5, 6, 7, 8) optimizadas para detectar un rango de energías iniciales de los electrones del haz de electrones (10). En este caso, preferentemente para microscopios TEM, cada uno de los sensores de electrones (1) está configurado para detectar respectivamente los siguientes rangos energéticos de los electrones: 60-120 keV, 120-200 keV y 200-300 kV. De este modo, según la energía de la utilizada en una aplicación concreta, puede seleccionarse el uso de un único sensor de electrones (1) para formar la imagen (11).

La segunda configuración de varios sensores de electrones (1) en paralelo, se muestra en la figura 5b, donde se posicionan dos sensores de electrones (1) desplazados entre sí a una distancia de medio pixel para duplicar la resolución espacial. En este caso ambos sensores de electrones (1) se utilizan a la vez.

La tercera configuración de varios sensores de electrones (1) en paralelo, se muestra en

la figura 5c, donde se colocan en paralelo al menos dos sensores de electrones (1), aunque preferentemente tres. De este modo es posible adquirir imágenes a mayor velocidad, es decir a más cuadros por segundo, sin reducir el tiempo de exposición mediante la técnica "Time-Delay-Integration" que se aplica con sensores lineales en aplicaciones ópticas. Esta configuración es especialmente útil en aplicaciones que requieren la captura de series de imágenes bidimensionales a alta velocidad como por ejemplo en aplicaciones dinámicas con microscopios TEM (in-situ TEM).

La cuarta configuración de varios sensores de electrones (1) en paralelo, se muestra en la figura 5d, donde se colocan al menos dos sensores de electrones (1) en paralelo y cada uno de ellos comprende electrodos de entrada (6) y/o electrodos de medida energética (7) con tamaños diferentes. Esta configuración permite formar la imagen (11) con diferentes resoluciones.

La quinta configuración de varios sensores de electrones (1) en paralelo, se muestra en la figura 5e, donde se conectan una pluralidad de sensores de electrones (1) para formar una imagen (11) bidimensional escaneando el haz de electrones (10) sucesivamente en pasos discretos y capturando con cada sensor de electrones (1) una línea de pixeles en cada posición. Es decir, para formar una imagen (11) bidimensional de 2048 x 2048 pixeles y si el sensor de electrones (1) comprende una línea de 2048 electrodos de entrada (6), habría que medir 2048 líneas en 2048 posiciones discretas. El proceso es más eficiente, colocando preferentemente 3 sensores de electrones (1) con una separación de 512 pixeles. De este modo, el haz de electrones (10) se escanearía una distancia equivalente de 512 pixeles en lugar de 2048 pixeles, y la captura de la imagen (11) bidimensional se haría en una cuarta parte del tiempo.

Cabe destacar que el presente sensor de electrones (1) es susceptible de medir una imagen monodimensional o bidimensional.

Preferentemente, para medir imágenes monodimensionales típicamente cuando se use en combinación con un filtro de energías, tanto el sensor de electrones (1) como el haz de electrones (10) que se proyecta desde el microscopio electrónico se mantienen en la misma posición horizontal.

Mientras que para medir imágenes bidimensionales se utilizan al menos cuatro métodos.

En cualquiera de estos métodos, por medio de la captura de múltiples líneas de proyección del haz de electrones (10) con el sensor de electrones (1) se forma la imagen (11) bidimensional.

Preferentemente, en el primer método, el sensor de electrones (1) está fijo en una posición en el plano de proyección del haz de electrones (10), y la representación proyectada por el TEM se escanea por medio de sistemas electromagnéticos (por ejemplo, bobinas de la lente proyectora que están incluidos en cualquier TEM) que se desplaza en una dirección perpendicular a la dirección lineal del sensor.

Preferentemente, en el segundo método, la proyección del haz de electrones (10) se encuentra en una posición fija, y se desplaza el sensor de electrones (1) por medios mecánicos tal como el empleo de un motor eléctrico con un sistema mecánico que transforma el giro del motor en un desplazamiento lineal. La ventaja de este método es que no es necesario controlar los sistemas electromagnéticos del TEM para el barrido del haz.

Preferentemente, en el tercer método, la proyección del haz de electrones (10) y el sensor de electrones (1) se encuentra en una posición fija, y se desplaza la muestra por medios mecánicos tal como el empleo de un motor eléctrico con un sistema mecánico que transforma el giro del motor en un desplazamiento lineal. La ventaja de este método es que no es necesario controlar los sistemas electromagnéticos del TEM para el barrido del haz ni del sensor.

Preferentemente, en el cuarto método, cuando el sensor se usa como sensor en aplicaciones de EFTEM, la proyección del haz de electrones (10) filtrada por un filtro de energía, el sensor de electrones (1) y la muestra, se encuentran en una posición fija, y se escanea el haz de electrones filtrado en energía en la dirección perpendicular del sensor de electrones (1) usando los sistemas electromagnéticos presentes en los filtros de energía que se emplean comúnmente en los TEM para aplicaciones de espectrometría.

En otra realización preferente, no representada, el sensor de electrones (1) también es aplicable para medir la energía de electrones transmitidos y secundarios en los microscopios electrónicos de barrido en modo transmisión, denominados STEM y SEM, mediante el escalado del tamaño del sensor de electrones (1) y el número y la geometría de los pixeles o electrodos (4, 5, 6, 7 8), para adaptarlo a estas aplicaciones

y los rangos de energía particulares de la aplicación.

Más concretamente, en aplicaciones de SEM y STEM las imágenes el sensor de electrones (1) que proponemos estaría fijo en una posición del microscopio ya que la imágenes y espectros en estas aplicaciones se forman barriendo un haz punto a punto.

REIVINDICACIONES

1.- Sensor de electrones (1) para microscopía electrónica realizada mediante un microscopio electrónico, en donde el sensor de electrones (1) comprende un substrato (2), con un plano anterior (2a) y un plano posterior (2p) paralelos entre sí, que está destinado a absorber al menos un electrón de un haz de electrones (10) que atraviesa una muestra y que es generado por el microscopio electrónico, y este electrón es susceptible de generar una carga eléctrica de pares electrón-hueco (e-h) libres en dicho substrato (2), caracterizado por que el sensor de electores (1) comprende:

- una superficie de recepción lateral (3), situada en uno de los laterales del substrato (2) para recibir perpendicularmente el haz de electrones (10),
- una unidad de guardia, con un plano inferior y un plano superior, depositado en el plano anterior (2a) bordeando paralelamente al menos la superficie de recepción lateral (3) atravesada por el haz de electrones (10), para evitar corrientes de fuga en el borde del substrato (2),
- una unidad de base, con un plano inferior y un plano superior, depositado en el plano anterior (2a) a continuación de la unidad de guardia, destinada a medir la energía de los electrones del haz de electrones que impactan en la superficie de recepción lateral (3),
- una unidad de entrada, con un plano inferior y un plano superior, depositado en el plano anterior (2a) entre el plano inferior de la unidad de guardia y el plano superior de la unidad de base para detectar el punto de entrada de los electrones del haz de electrones,
- una unidad de contacto, depositada en el plano posterior (2p), y
- una unidad de circuitería electrónica (12), situada a continuación de la unidad base y vinculada con al menos la unidad de base, la unidad de contacto y la unidad de entrada, que comprende un generador eléctrico y circuito eléctrico,

en donde dicho generador eléctrico genera una corriente de polarización eléctrica, entre el plano anterior (2a) y el plano posterior (2p), que arrastra los electrones libre generados en el substrato (2) hacia a la unidad base y/o la unidad de entrada, y arrastra los huecos libres hacia la unidad de contacto; permitiendo que los electrones y los huecos sean capturados por sus respectivas unidades y acondicionado y procesando los electrones libres por un circuito electrónico comprendido en dicha unidad de control para formar una imagen (11) monodimensional o bidimensional con mayor rango dinámico.

2.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 1, caracterizado por que la unidad de entrada comprende una serie de electrodos de entrada (6).

3.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 2, caracterizado por que los electrodos de entrada (6) comprenden una altura entre 10 y 70 μηι, un ancho entre 4 y 20 μηι, y en donde dichos electrodos de entrada (6) están separados entre sí a una distancia entre sus ejes verticales comprendida entre 10 y 50 μηι.

4.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 3, caracterizado por que los electrodos de entrada (6) comprenden una altura de 50 μηι, un ancho de 10 μηι, y están separados entre sí a una distancia entre sus ejes verticales de 25 μηι.

5.- Sensor de electrones (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado por que la unidad de guardia comprende al menos un electrodo de guardia (5) próximo a la superficie de recepción lateral (3), en cuyo plano inferior presenta una pluralidad de hendiduras para alojar el plano superior de los electrodos de entrada (6) sin contactar directamente.

6.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 5, caracterizado el electrodo de guardia (5) está depositado a modo de cuatro tiras que forman un marco, dos de ellos a lo ancho y dos a largo del substrato (2) en donde la tira del electrodo de guardia (5) más próxima a la superficie de recepción lateral (3) presenta una pluralidad de hendiduras para alojar el plano superior de los electrodos de entrada (6) sin contactar directamente.

7.- Sensor de electrones (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6, caracterizado por que el electrodo guardia (5) comprende una altura de 2 μηι, y cada hendidura presenta una altura de al menos 1 μηι y un ancho superior al menos 1 μηι superior al del ancho del electrodo de entrada (6).

8.- Sensor de electrones (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, caracterizado por que la unidad de base comprende un electrodo base (8) con una pluralidad de receptáculos en su plano superior para alojar el plano inferior de los de electrodos de entrada (6) sin contactar directamente.

9.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 8, caracterizado por que el electrodo base (8) se extiende a todo lo ancho del substrato (2) y presenta una altura comprendida entre 100 y 400 μm.

10.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 9, caracterizado por que electrodo base (8) comprende una altura de 200 μm.

11.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 8, caracterizado por que cada receptáculo del electrodo base (8) presenta una configuración sensiblemente ovalada con una altura comprendida entre 10 y 150 μm, y un ancho comprendido entre 10 y 35 μm.

12.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 8, caracterizado por que cada receptáculo del electrodo base (8) comprende una altura 50 μm y un ancho de 20 μm.

13.- Sensor de electrones (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizado por que la zona de unión entre el plano inferior de los electrodos de entrada (6) y el plano superior del electrodo base (8) comprende una serie de electrodos de medida energética (7) para medir la energía de los electrones que al impactar sobre superficie de recepción lateral (3) atraviesan los electrodos de entrada (6).

14.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 13, caracterizado los electrodos de medida energética (7) tienen forma sensiblemente ovalada con una altura comprendida entre 10 y 20 μm, y un ancho comprendido entre 20 y 30 μm.

15.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 14, caracterizado por que los electrodos de medida energética (7) comprende una altura de 20 μm y un ancho de 20 μm.

16.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 15, caracterizado por que cada electrodo de medida energética (7) comprende una superposición de electrodos de medida de configuración sensiblemente ovalada.

17.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 1, caracterizado por que la unidad de contacto comprende un electrodo de contacto (4) que ocupa sustancialmente la

totalidad del ancho del plano posterior (2p) y tiene una altura máxima de 400 μηι.

18.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 13, caracterizado por que el electrodo de contacto (4), electrodo base (8), cada electrodo de entrada (6) y cada electrodo de medida energética (7) están conectados, mediante unas pistas de metal (13, 13', 13") depositadas sobre el substrato (2), a la unidad de circuitería electrónica (12) que se encuentra insertada en el plano anterior (2a) del substrato (2) a continuación del electrodo base (8),

19.- Sensor de electrones (1) según la reivindicación 16, caracterizado por que el electrodo de contacto (4), el electrodo base (8), cada electrodo de entrada (6) y cada electrodo de la superposición de electrodos de medida energética están conectados, mediante unas pistas de metal (13, 13', 13") depositadas sobre el substrato (2) a la unidad de circuitería electrónica (12) que se encuentra insertada en el plano anterior (2a) del substrato (2) a continuación del electrodo base (8).

20.- Sistema para microscopía electrónica realizada mediante un microscopio electrónico, caracterizado porque comprende al menos dos sensores de electrones (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17 colocados en paralelo para generar imágenes bidimensionales formadas por la adición de forma sucesiva de líneas monodimensionales medidas por cada uno de los sensores de electrones (1).

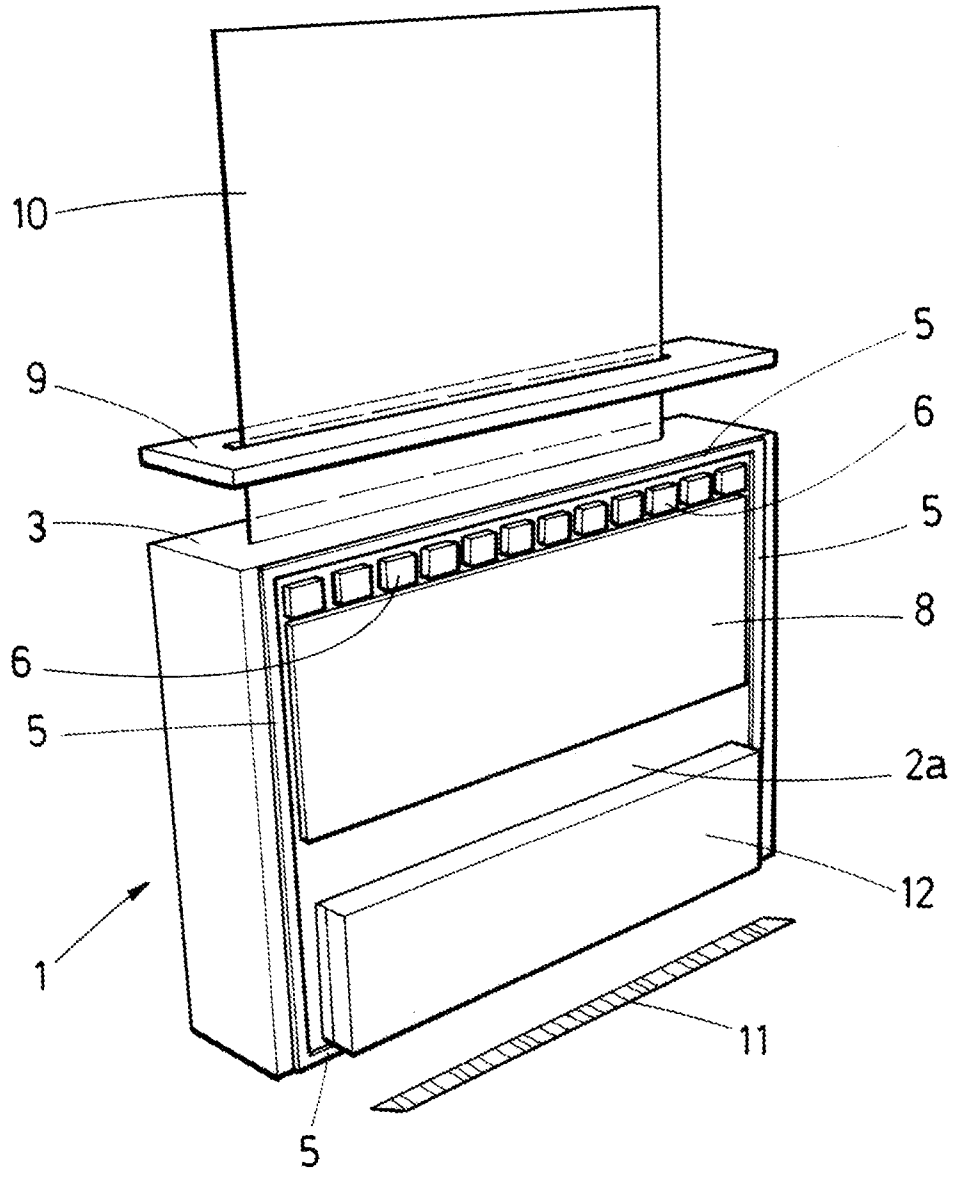


FIG.1

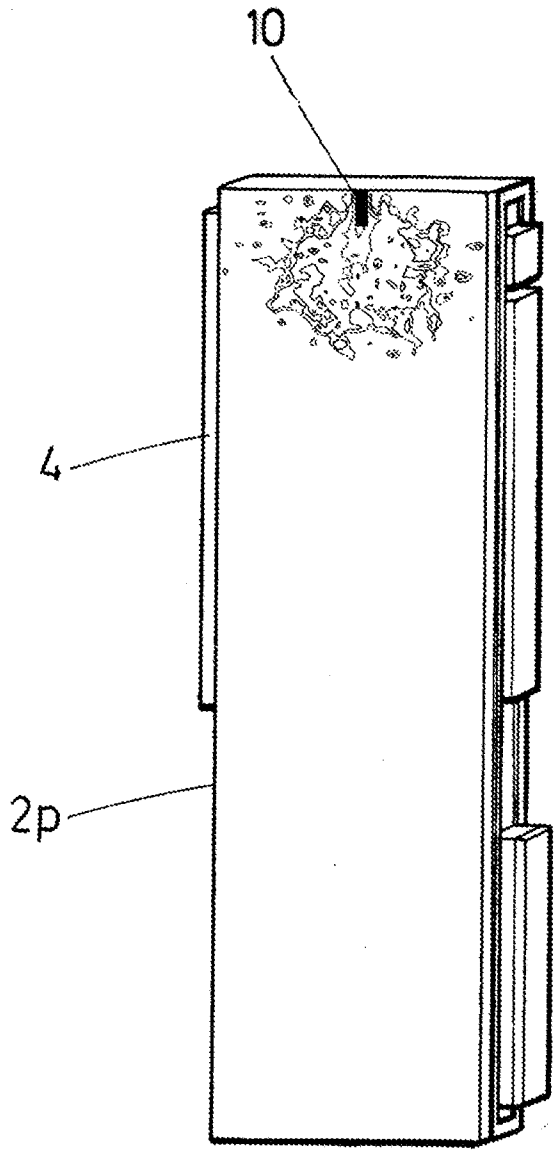


FIG.2

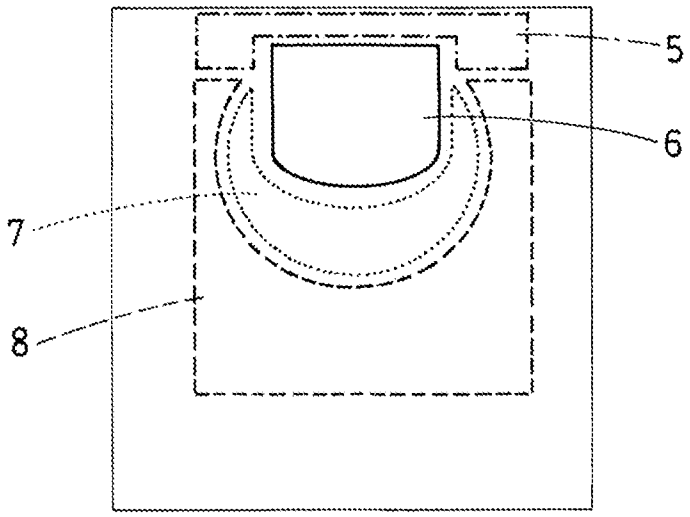


FIG.3A

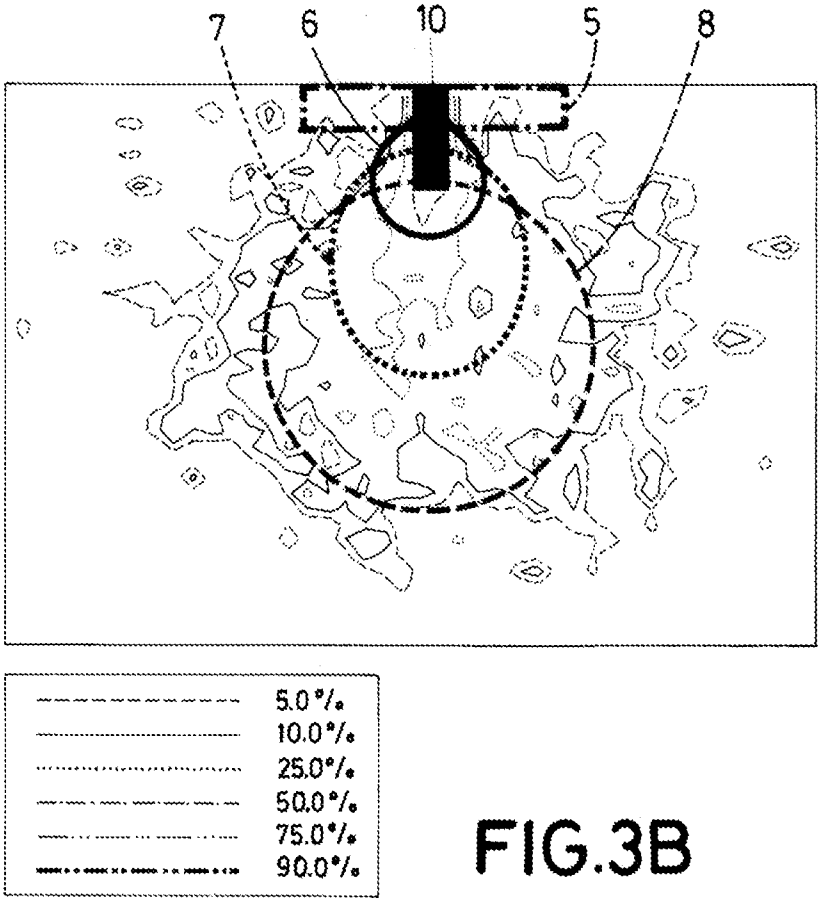


FIG.3B

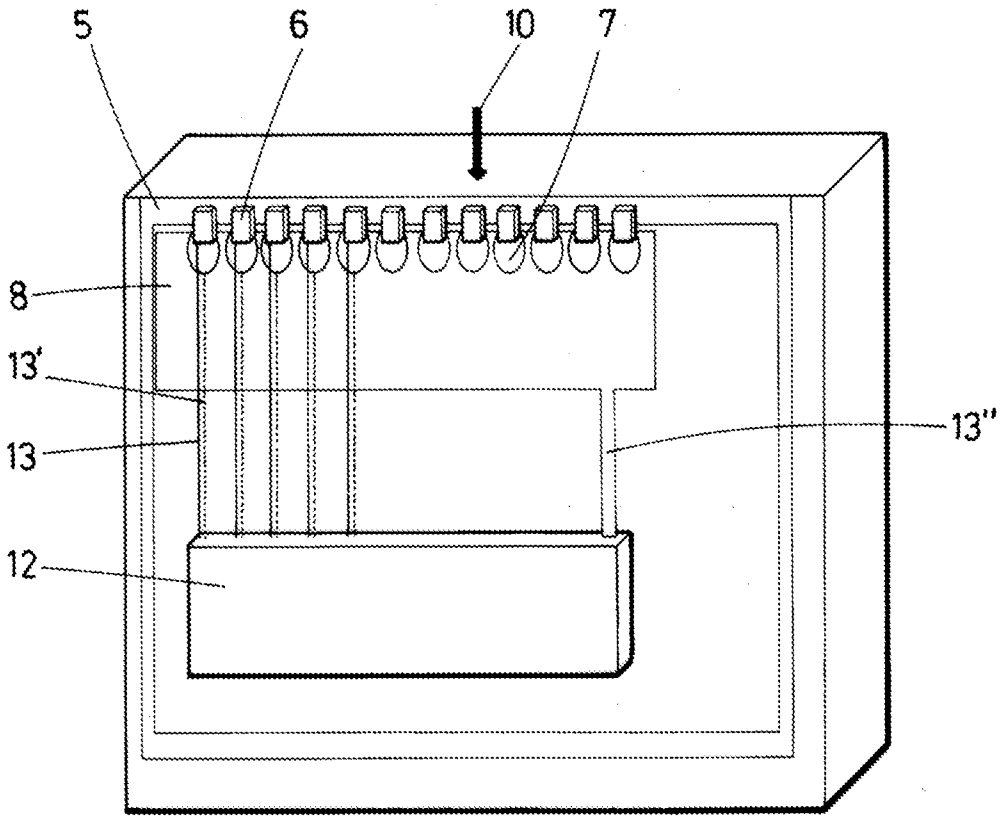


FIG.4

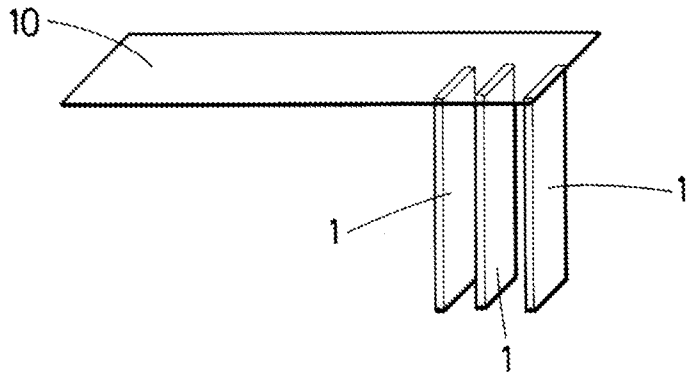


FIG.5a

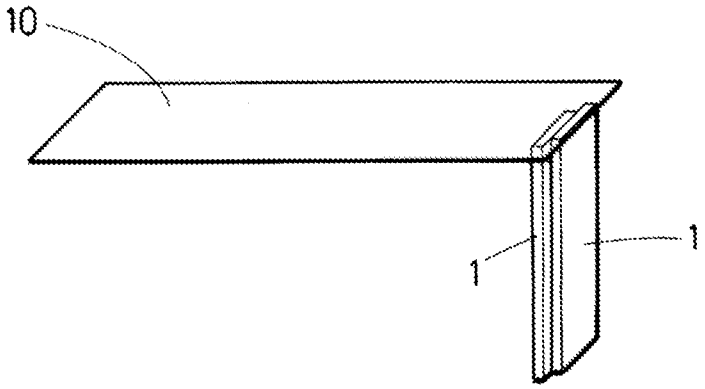


FIG.5b

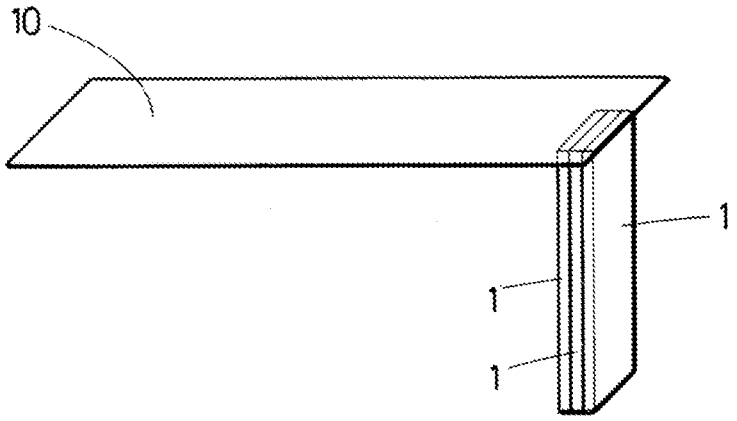


FIG.5c

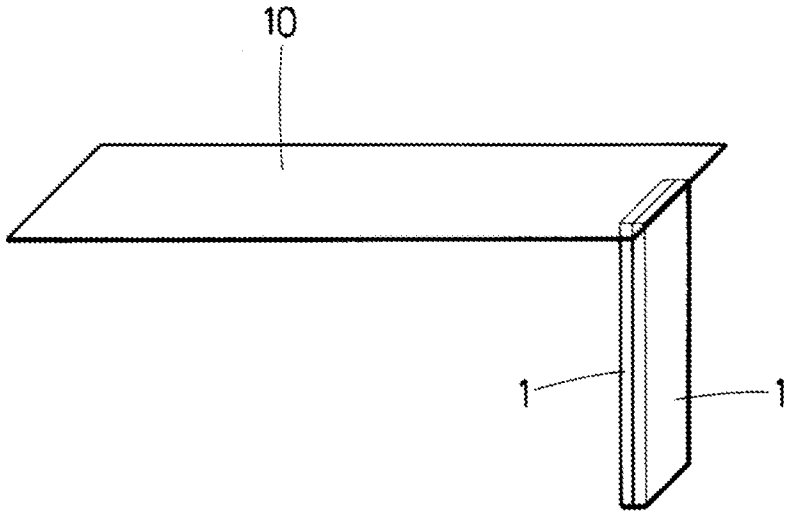


FIG.5d

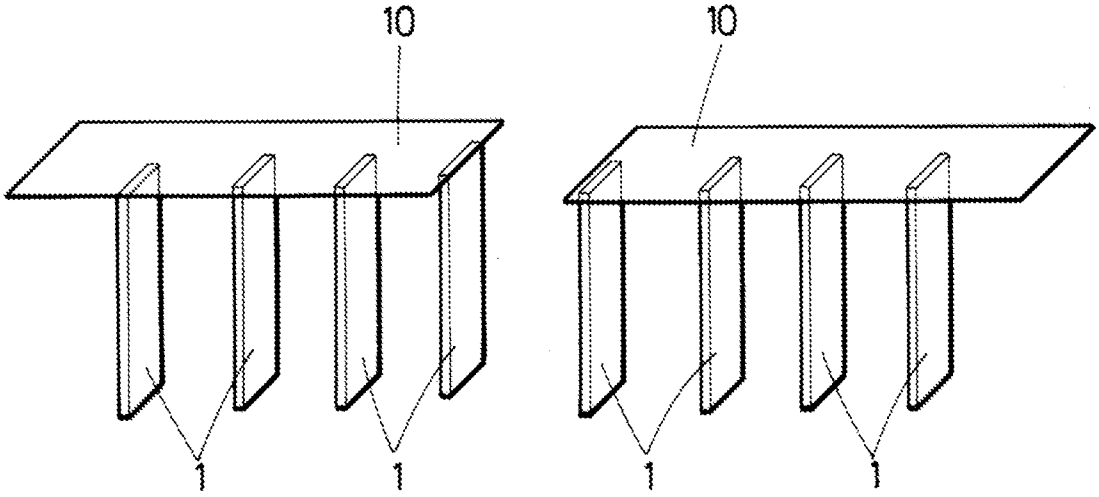


FIG.5e

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2017/070489

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J37/26 (2006.01)
H01L31/08 (2006.01)
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Mínimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01J, H01L, G21K

Documentation searched other than mínimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (ñame of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2005/117145 A1 (ISIS INNOVATION LIMITED) 08/12/2005, the whole document.	1-20
A	JP 2005044676 A (HORIBA LTD. ET AL.) 17/02/2005, the whole document.	1, 20
A	US 2013/0032713 A1 (BARBI, C. ET AL.) 07/02/2013, abstract; paragraphs [0019]-[0024], **[0063]-[0068];** figures 2-4 and 7.	1-12, 17, 20
A	JP H08162060 A (TOSHIBA KK) 21/06/1996, the whole document.	1, 20

☐ Furfher documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may fhrow doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict wifh the application but cited to understand the principie or fheory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents , such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20/10/2017	**(23/10/2017)**
Ñame and mailing address of the ISA/ OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España) Facsímile No.: 91 349 53 04	Authorized officer Ó. González Peñalba Telephone No. 91 3495475

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.
PCT/ES2017/070489

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO2005117145 A1	08.12.2005	JP2008500689 A	10.01.2008
		JP4815434B B2	16.11.2011
		AT451721T T	15.12.2009
		US2009206428 A1	20.08.2009
		US7888761 B2	15.02.2011
		US2007262404 A1	15.11.2007
		EP1756874 A1	28.02.2007
		EP1756874 B1	09.12.2009
JP2005044676 A	17.02.2005	JP4267397B B2	27.05.2009
US2013032713 A1	07.02.2013	JP2014527690 A	16.10.2014
		EP2739958 A1	11.06.2014
		EP2739958 A4	20.05.2015
		WO2013022735 A1	14.02.2013
		US8581188 B2	12.11.2013
JPH08162060 A	21.06.1996	NONE	

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2017/070489

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD
H01J37/26 (2006.01)
H01L31/08 (2006.01)
De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)
H01J, H01L, G21K

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)
EPODOC, INVENES, WPI, INSPEC

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones n°
A	WO 2005117145 A1 (ISIS INNOVATION LIMITED) 08/12/2005, todo el documento.	1-20
A	JP 2005044676 A (HORIBA LTD. ET AL.) 17/02/2005, todo el documento.	1, 20
A	US 20130032713 A1 (BARBI, C. ET AL.) 07/02/2013, resumen; párrafos [0019]-[0024], [0063]-[0068]; figuras 2-4 y 7.	1-12, 17, 20
A	JP H08162060 A (TOSHIBA KK) 21/06/1996, todo el documento.	1, 20

☐ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"¿fe" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.	Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
20/10/2017	**23 de octubre de 2017 (23/10/2017)**
Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España) N° de fax: 91 349 53 04	Funcionario autorizado Ó. González Peñalba N° de teléfono 91 3495475

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ES2017/070489

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
WO2005117145 A1	08.12.2005	JP2008500689 A	10.01.2008
		JP4815434B B2	16.11.2011
		AT451721T T	15.12.2009
		US2009206428 A1	20.08.2009
		US7888761 B2	15.02.2011
		US2007262404 A1	15.11.2007
		EP1756874 A1	28.02.2007
		EP1756874 B1	09.12.2009
JP2005044676 A	17.02.2005	JP4267397B B2	27.05.2009
US2013032713 A1	07.02.2013	JP2014527690 A	16.10.2014
		EP2739958 A1	11.06.2014
		EP2739958 A4	20.05.2015
		WO2013022735 A1	14.02.2013
		US8581188 B2	12.11.2013
JPH08162060 A	21.06.1996	NINGUNO	