



REPÚBLICA ARGENTINA
PODER EJECUTIVO NACIONAL
MINISTERIO DE PRODUCCIÓN

INSTITUTO NACIONAL de la PROPIEDAD INDUSTRIAL

TÍTULO DE PATENTE DE INVENCIÓN

AR104999B1

LA ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE PATENTES, CONFORME LO RESUELTO EN EL EXPEDIENTE RESPECTIVO Y EN VIRTUD DE LO DISPUESTO POR LA LEY 24.481 (T.O.1996), Y SU DECRETO REGLAMENTARIO (DECRETO 260/96, ANEXO II), EXTIENDE EN NOMBRE DE LA NACIÓN ARGENTINA EL PRESENTE TÍTULO A COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA; CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS (CONICET). INVENTOR / ES PASTORIZA, HERNAN; BLOSTEIN, JUAN JERONIMO; SOFO HARO, MIGUEL; SIDELNIK, IVAN PEDRO; ALCALDE BESSIA, FABRICIO; PEREZ, MARTIN; BERISSO, MARIANO; LIPOVETZKY, JOSE; TARTAGLIONE, AURELIANO.

QUE ACREDITA LA CONCESIÓN DE PATENTE DE INVENCIÓN SOBRE: DETECTOR DE NEUTRONES TÉRMICOS Y SUBTÉRMICOS DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL EN DOS DIMENSIONES BASADO EN SENSORES ELECTRÓNICOS CCD Y CMOS Y UN CONVERTOR QUE CONTIENE GADOLINIO

CUYA DOCUMENTACIÓN ANEXA ES COPIA FIEL DE LA DEPOSITADA EN EL INSTITUTO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL CONFORME A LO ESTABLECIDO EN EL ART. 35 DE LA LEY 24.481 (DECRETO 260/96 - ANEXO I), EL TÉRMINO POR EL QUE SE ACUERDA LA PATENTE ES POR VEINTE AÑOS IMPRORRIGABLES CONTADOS A PARTIR DE LA PRESENTACIÓN DE LA SOLICITUD, POR LO CUAL EXPIRARÁ EL DÍA: 14 DE JUNIO DE 2036.

BUENOS AIRES, 30 DE JUNIO DE 2021.



Patentes de Invención
Modelos de Utilidad



Marcas



Modelos y Diseños
Industriales



Transferencia de
Tecnología



Información
Tecnológica

DETECTOR DE NEUTRONES TÉRMICOS Y SUBTÉRMICOS DE ALTA
RESOLUCIÓN ESPACIAL EN DOS DIMENSIONES BASADO EN SENSORES
ELECTRÓNICOS CCD Y CMOS Y UN CONVERTOR QUE CONTIENE
GADOLINIO

5

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un dispositivo que permite la detección y el
registro, en dos dimensiones y con alta resolución espacial en dos dimensiones, de neutrones
térmicos o subtérmicos basado en un sensor de imágenes utilizando las tecnologías CMOS
y/o CCD y una capa de conversión que contiene gadolinio. El campo de aplicación es
industria nuclear, instrumentación neutrónica, medicina, radioterapia por captura neutrónica en
boro (BNCT) o en gadolinio (GdNCT), monitoreo ambiental, seguridad radiológica,
prospección minera (uranífera, entre otras), prospección petrolera, salvaguardias nucleares,
control de seguridad en portales aduaneros y de tránsito (tanto mediante la obtención de
imágenes neutrónicas como mediante la detección de elementos físi­les o fisionables).

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Existen diferentes detectores de neutrones térmicos basados en la detección de
partículas secundarias que se generan tras la absorción de un neutrón térmico por un isótopo
determinado. Un tipo muy usado de detector está basado en una cámara de ionización o
contador proporcional que contiene ^3He , un gas sensible a neutrones. Debido a la alta sección
eficaz de captura de neutrones en ^3He , estos detectores poseen también una alta eficiencia de
detección. En los últimos diez años, el uso masivo de este tipo de detectores en sistemas de

control de seguridad ha consumido la mayoría del stock mundial del isótopo ^3He , llevando a una “crisis del ^3He ”, que consiste en una disminución abrupta de la oferta de este insumo. Esta situación ha redundado en un incremento de hasta 10 veces o más en su precio durante la última década. Existen también detectores basados en cámaras de ionización sobre las que se depositan capas o multicapas de isótopos como ^{10}B o ^{235}U . Este tipo de detectores requiere un volumen considerablemente grande, por lo que no permite detectar partículas con una alta resolución espacial.

Otros tipos de detectores que se han propuesto están basados en detectar partículas secundarias que ocurren tras la captura de un neutrón térmico en el isótopo ^{10}B . Para ello usan sensores electrónicos tipo CCD (Charged Coupled Devices) o CMOS (Metal Óxido Semiconductor Complementario) recubiertos por una capa de conversión que contiene ^{10}B . Sin embargo, poseen como desventaja una baja eficiencia en detección de partículas. Esto se debe en primer lugar a que, aunque la sección eficaz de captura de neutrones del ^{10}B es suficientemente alta, las partículas emitidas por la capa de conversión (partículas alfa de hasta 1.78 MeV) tienen un rango muy pequeño en los materiales que forman el detector y en la capa de conversión misma. Ello hace que el espesor máximo de la capa de conversión sea muy limitado (pocos micrómetros) y en algunos casos no pueda usarse sobre dispositivos electrónicos que poseen capas de aislación como Field Oxides en dispositivos CMOS, que frenarían completamente a las partículas alfa. Un ejemplo es la patente US 6262421 B1, en la que, cuando se captura un neutrón en la capa de conversión se genera una partícula alfa, que luego puede ser detectada por el sensor de estado sólido.

Otra propuesta es la patente WO2013032549A1 que propone utilizar una capa de gadolinio como conversor de neutrones en partículas cargadas, para luego detectar las partículas cargadas usando el cambio transitorio en la corriente de un transistor semiconductor. La diferencia con dicha patente es que nuestro invento utiliza un sensor de

imagen basado en un arreglo de píxeles formados por junturas P-N, o un arreglo de píxeles fabricado en tecnología CCD, en el que la detección no se da a partir de la medición de corriente en un transistor sino en la recolección de la carga generada en uno o más píxeles del sensor. Ello presenta una importante ventaja respecto a la patente WO2013032549A1 ya que permite tener un área de detección mayor, un menor consumo de potencia, simplifica la electrónica de lectura, y permite tener el detector todo el tiempo en un estado sensible a los neutrones incluso con cantidades muy grandes de elementos detectores simultáneamente activos (varios millones).

La presente invención se diferencia además de invenciones previas de detectores de neutrones en que el dispositivo objeto de la presente invención permite lograr una alta resolución espacial en dos dimensiones (formación de imágenes neutrónicas) que no puede ser alcanzada con otras técnicas existentes. Además, utiliza un sensor comercial 2D disponible en el mercado a bajo costo en combinación con compuestos conteniendo gadolinio, lo cual no ha sido realizado ni propuesto en dispositivos o patentes anteriores.

Por otro lado se ha propuesto el uso de capas conversoras centelladoras, que emiten luz visible tras la captura de un neutrón. La diferencia con nuestro invento es que, lo que el sensor de imágenes propuesto permite detectar son electrones en lugar de luz visible como en las otras patentes. La patente DE19644522A1 propone un detector de neutrones en que se use una capa centelladora que contenga gadolinio. La patente US5334840A propone un arreglo hexagonal de capas de gadolinio que emitiría más luz aumentando la sensibilidad. La patente US20080067394A1 propone un sistema centellador que mediante la coincidencia temporal de dos señales permite detectar neutrones o fotones gamma, diferenciando qué partícula arribó. La patente US5734166A muestra un centellador gamma cubierto por una capa de conversión centelladora que permite la detección de neutrones. Respecto a estos

detectores, nuestra invención permite reducir los tamaños del detector dando una mayor resolución espacial en la detección de los neutrones.

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

5 Es entonces un objeto de la presente invención proveer un dispositivo que permite la detección y el registro en dos dimensiones, con alta resolución espacial, de neutrones térmicos y/o subtérmicos basado en un sensor de imágenes utilizando las tecnologías CMOS y/o CCD, y una capa de conversión que contiene gadolinio. El sensor de imágenes detecta las partículas generadas en la capa que contiene gadolinio como resultado
10 de la captura de neutrones. El sensor de imágenes puede ser cualquier sensor de imágenes CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor), como por ejemplo un sensor basado en píxeles activos, un arreglo de fotodiodos pasivos, o un sensor de imágenes CCD (Charge-Coupled-Devices).

Es por lo tanto un objeto de la presente invención proveer

15

DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Para mayor claridad y comprensión del objeto de la presente invención, se lo ha ilustrado en varias figuras, en las que se ha representado el mismo en una de las formas preferidas de realización, todo a título de ejemplo, en donde:

20 La figura 1 es una imagen de una posible implementación, en la que se depositó una pintura conteniendo óxido de gadolinio en la capa de conversión;

Las figuras 2a y 2b muestran imágenes de sensores montados en la tapa de una caja oscura (a) y puestos en el haz de neutrografía del reactor RA6 (b).

Las figuras 3a muestra una imagen óptica, obtenida exponiendo el sensor a la luz visible, donde se muestra la zona recubierta por la capa de conversión conteniendo Gd (en negro, debida a la absorción/dispersión de la luz en la capa de conversión con gadolinio).

La figura 3b muestra una imagen formada por los eventos registrados durante la irradiación con neutrones, mostrando la sensibilidad de la región recubierta con Gd. Cada punto blanco representa uno o varios eventos, se observa que en la región cubierta por la capa de conversión se detectó un número alto de eventos causados por la captura de neutrones en la capa de conversión.

La figura 4 es un gráfico que muestra eventos registrados en un cuadro en el detector. Se comparan dos sensores, uno de control sensible sólo a los fotones gamma y el sensor con capa de conversión de Gd sensible a los neutrones

DESCRIPCION DETALLADA DEL EJEMPLO DE REALIZACION

Haciendo referencia a las figuras, se observa que la Figura 1 presenta un prototipo probado exitosamente, en el que se recubrió un sensor de imágenes CMOS comercial con una capa de conversión fabricada utilizando 50% de óxido de gadolinio y 50% de barniz sintético, formando una capa con contenido de Gadolinio, la cual se adhiere al sensor (Fig. 1). La cámara es leída con una computadora y un adquisidor de video, tal como los descritos en la solicitud de patente *P20120102319*.

El sensor de la Figura 1 fue expuesto a un flujo de neutrones y fotones en el haz de Neutrografía del Reactor RA6, Centro Atómico Bariloche, CNEA. Para ello se montaron dos sensores en una cavidad oscura (para evitar el ingreso de luz, Fig. 2.(a), y fueron colocados en el haz del RA6 antes mencionado (ver en la Fig. 2.(b)). Para reducir el flujo de fotones gamma provenientes del núcleo del reactor (respecto del de neutrones) se interpuso en el haz un blindaje de 10 cm de plomo entre núcleo del reactor y los sensores. En

simultáneo se expusieron sensores idénticos al cubierto con la capa de conversión con gadolinio, pero sin dicha capa, como detector de control. Las cámaras fueron expuestas a flujos crecientes de neutrones lo cual se logró aumentando la potencia del reactor. Como control, una parte de la cámara fue cubierta con la pintura conteniendo Gd, y otra parte del mismo dispositivo se dejó sin recubrir. La Figura 3 muestra en (a) una imagen óptica de la cámara expuesta a luz visible donde se aprecia la parte cubierta. La Figura 3 (b) muestra el total de eventos registrados. Se observa una mayor cantidad de eventos registrados en la región que poseía la capa de conversión, mientras que en la región sin recubrir se observa un número menor de eventos generados por los fotones gamma.

Finalmente, la Figura 4 muestra la cantidad promediada de eventos registrados por cuadro (1/25s) en el detector recubierto por la capa de conversión, y la cantidad de cuentas registradas en el mismo lapso en otro detector similar pero sin capa de conversión (detector usado como control). Durante la medición se aumentó el flujo de neutrones variando la potencia del reactor desde 15, 50kW, 150kW, y 500kW. Se observa que el detector que incluye la capa de conversión de gadolinio detecta un número mayor de eventos debido a las reacciones nucleares originadas por neutrones. Luego se interpuso entre el detector y el haz una capa de 10 cm de polietileno borado, que tiene una atenuación a neutrones térmicos mayor a la atenuación de fotones gamma. El resultado es que el número de cuentas relativo entre la cámara con capa de conversión disminuye mucho más que el número de cuentas detectado en el sensor de control. Entre los minutos 52 y 56 se interrumpió el flujo de partículas interponiendo un blindaje de 40 cm de Pb.

Tal como fuera mencionado, el objeto de la presente invención consiste en un detector de neutrones formado por una capa de conversión que contiene gadolinio y un sensor electrónico que puede ser un sensor de imágenes de estado sólido con tecnologías CCD y/o CMOS. La capa de conversión que contiene gadolinio captura neutrones y mediante la

reacción nuclear $^{157}\text{Gd} (n,\gamma) ^{158}\text{Gd}$ emite cuasi instantáneamente fotones gamma, electrones de conversión y electrones Auger de decenas de keV. El sensor de imágenes de estado sólido, que puede ser un sensor de imagen CMOS fabricado ad-hoc, un sensor comercial CMOS como el de la solicitud de patente P20120102319, un sensor CCD o cualquier otro,
5 detecta los electrones generados por la reacción en la capa de conversión, permitiendo la detección del neutrón incidente. Otro posible tipo de detector son los Fotomultiplicadores de Silicio o Silicon Photo Multipliers (SiPM).

El gadolinio puede ser en la composición isotópica natural o bien enriquecido en el isótopo ^{157}Gd . El gadolinio natural o enriquecido en el isótopo ^{157}Gd , puede formar parte
10 de diferentes compuestos y materiales que faciliten su aplicación/deposición/colocación sobre la superficie del sensor tales como pinturas, barnices, etc. En el prototipo fabricado que prueba el funcionamiento de la idea, se ha mezclado polvo de óxido de gadolinio con barniz sintético, o con foto-resinas usadas en fotolitografía.

El detector que forma parte de la actual invención tiene como ventajas entonces
15 usar como capa de conversión un material de alta disponibilidad, además de permitir tener un sensor de pequeño tamaño, alta resolución espacial, bajo costo y fácil construcción. En ese sentido posee una importante ventaja respecto a los sensores que usan como material de conversión ^3He , ^{235}U , etc.

Por otro lado, como el ^{157}Gd posee una sección eficaz de captura mucho mayor
20 que la del ^{10}B , la presente invención permite una mayor eficiencia en la captura de los neutrones incidentes con capas relativamente delgadas (decenas a cientos de micrómetros). Ese espesor es además menor al rango de los electrones que se generan en cuando el ^{157}Gd captura un neutrón, favoreciendo además que esos electrones sean registrados por el sensor electrónico.

El uso simultáneo de dos detectores, uno cubierto con la capa de conversión que contiene gadolinio y otro que no la contenga, permite medir en el primero la suma de flujos de neutrones y otras partículas ionizantes, y en el segundo sólo las demás partículas ionizantes. Mediante la diferencia en el número de partículas detectadas pueden determinarse de manera
5 diferenciadas los flujos de neutrones y otras partículas en un haz mixto de irradiación.

Finalmente, la alta resolución espacial en dos dimensiones que puede obtenerse si el detector usado es por ejemplo un sensor de imágenes CMOS o un sensor de imágenes CCD podría permitir la microscopía de neutrones, permitiendo analizar por ejemplo la emisión y/o transmisión de neutrones de muestras de pequeño tamaño. La resolución potencial que
10 puede obtenerse es la del tamaño del píxel, del orden de $10\mu\text{m}$.

REIVINDICACIONES

Habiendo así especialmente descrito y determinado la naturaleza de la presente invención y la forma como la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara reivindicar como de propiedad y derecho exclusivo:

5

1. Un detector de neutrones subtérmicos, térmicos y/o epitérmicos, caracterizado porque está formado por un dispositivo semiconductor sensible a partículas cargadas y a radiación electromagnética el cual es un sensor de imágenes, basado en CMOS, CCD, SPiM, y una capa de conversión de neutrones en partículas cargadas y radiación electromagnética
10 que contiene gadolinio en donde la capa de conversión se recubre con una pintura.

2. El detector de acuerdo con las reivindicación 1, caracterizado porque la pintura comprende 50% de óxido de gadolinio y 50% de barniz sintético.

15

3. El detector de acuerdo con las reivindicación 2, caracterizado porque en la pintura conteniendo óxido de gadolinio se deposita en la capa de conversión.

20

4. El detector de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el semiconductor sensible a partículas cargadas y a radiación electromagnética es un sensor de imágenes, basado en un sensor de imágenes CMOS o un sensor de imágenes CCD.

25

5. El detector de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la capa de conversión que contiene gadolinio comprende el blindaje para reducir el daño por neutrones en el dispositivo semiconductor.

RESUMEN

Un detector de neutrones térmicos y subtérmicos con alta resolución espacial en dos dimensiones, basado en un sensor electrónico de formación de imágenes (por ejemplo un dispositivo CCD o CMOS). El detector posee un pequeño tamaño, bajo consumo, es portable y de muy bajo costo. El detector no utiliza el isótopo ^3He , poco disponible y costoso, por lo que puede ser fabricado en grandes cantidades. Puede ser utilizado en defensa, seguridad y en puestos de control de fronteras y de tránsito detectando la presencia de materiales fisibles o fisionables, como el plutonio o el uranio, en dosimetría en tratamientos de radioterapia basados en el uso de neutrones, y en diversas técnicas que emplean haces de neutrones para numerosos estudios básicos y aplicados, entre otras aplicaciones. También tiene aplicación en medio ambiente, controlando contaminación con materiales que emiten neutrones térmicos, inspección de materiales por neutrografía (toma de imágenes usando neutrones) y en general en física e ingeniería de reactores y física e ingeniería nuclear.

15

20

5

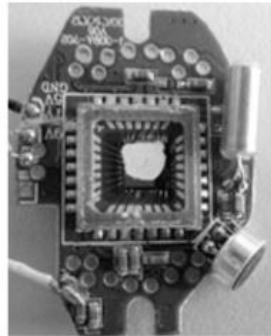


Fig 1

10

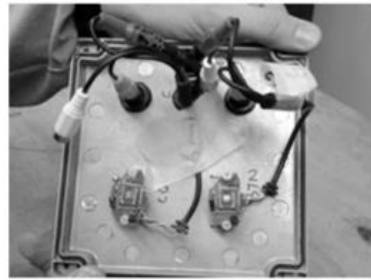


Fig 2a

15

20



Fig 2b

25

5



10

Fig 3a

15



20

Fig 3b

25

5

10

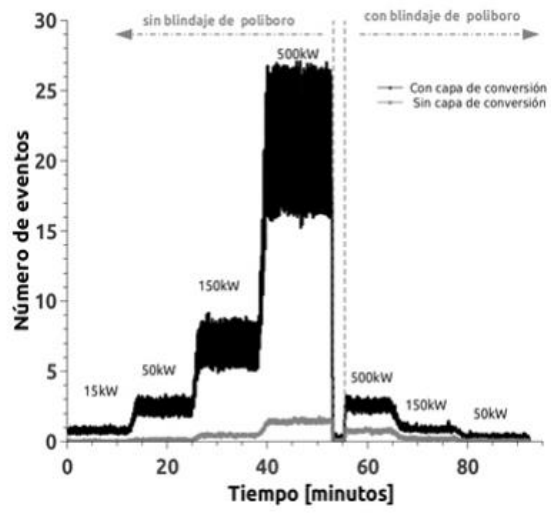


Fig 4

15

20



REPÚBLICA ARGENTINA

(10) PATENTE DE INVENCION

(11) RESOLUCION NUMERO: AR104999B1

(--) DISPOSICION GDE NUMERO: DI-2021-177-APN-ANP#INPI

(24) FECHA DE RESOLUCION: 30/06/2021

(--) FECHA DE VENCIMIENTO: 14/06/2036

(21) ACTA NUMERO: P20160101772

(22) FECHA PRESENTACION:14/06/2016

(51) INT.CL.7 : (CIP) G01T 3/00, G01T 17/00, G01T1/208, G01T 1/24

(30) PRIORIDAD CONVENIO DE PARIS

(54) TITULO :DETECTOR DE NEUTRONES TERMICOS Y SUBTERMICOS DE ALTA RESOLUCION ESPACIAL EN DOS DIMENSIONES BASADO EN SENSORES ELECTRONICOS CCD Y CMOS Y UN CONVERTOR QUE CONTIENE GADOLINIO

(71) TITULAR :

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS (CONICET)

---- CON RESIDENCIA EN :

AV DEL LIBERTADOR 8250 CABA, (1429), País AR

GODOY CRUZ 2290 CABA, (1425), País AR

(74) AGENTE :