

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 223**

51 Int. Cl.:

C09K 11/00 (2006.01)
C09K 11/63 (2006.01)
C09K 11/68 (2006.01)
G01T 3/06 (2006.01)
C04B 35/01 (2006.01)
G21K 4/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.12.2011** **PCT/JP2011/079012**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.06.2012** **WO12081658**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2011** **E 11848688 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2017** **EP 2653517**

54 Título: **Centelleador de neutrones, y detector de neutrones**

30 Prioridad:

16.12.2010 JP 2010281067

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
02.11.2017

73 Titular/es:

TOKUYAMA CORPORATION (50.0%)
1-1, Mikage-cho
Shunan-shi, Yamaguchi 745-8648, JP y
TOHOKU UNIVERSITY (50.0%)

72 Inventor/es:

YAMANE, HISANORI;
KAWANO, TETSUYA;
YOSHIKAWA, AKIRA;
YANAGIDA, TAKAYUKI;
YOKOTA, YUI;
FUJIMOTO, YUTAKA;
FUKUDA, KENTARO y
KAWAGUCHI, NORIAKI

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 640 223 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

Centelleador de neutrones, y detector de neutrones

Campo técnico

5 La presente invención se refiere al uso de un borato como centelleador de neutrones, y a un detector de neutrones que incluye el centelleador de neutrones, y un fotodetector. Más particularmente, la presente invención se refiere al uso de un borato que comprende al menos Mg y un elemento de transición divalente como centelleador de neutrones.

Técnica anterior

10 Los detectores de neutrones son un ejemplo de tecnología de elementos que soporta diversos tipos de tecnología basada en neutrones. Se requieren detectores de neutrones de alto rendimiento con el fin de hacer frente a los desarrollos de una diversidad de tecnologías basadas en neutrones, por ejemplo en el campo de la seguridad, por ejemplo en la inspección de cargas, en el campo de ensayos industriales no destructivos, o en el campo de la investigación académica, por ejemplo en análisis estructural por medio de difracción de neutrones.

15 Las principales cuestiones de rendimiento necesarias para los detectores de neutrones son la eficiencia de detección de neutrones y la discriminación entre neutrones y rayos- γ (en lo sucesivo referida como discriminación n/ γ). La eficiencia de detección se refiere en la presente memoria a la relación de la cantidad de neutrones que se detectan por medio de un detector con respecto a la cantidad de neutrones que se emiten por parte de una fuente de neutrones y que impactan en el detector. Además, la discriminación n/ γ indica la relación de una señal de detección de neutrones con respecto al ruido de fondo procedente de los rayos- γ . En este caso, los rayos- γ se generan cuando los neutrones impactan un elemento tal como Fe (hierro), Pb (plomo), Cd (cadmio), C (carbono), N (nitrógeno) o similares, presente en un objeto que se pretende inspeccionar o en un miembro constituyente para la detección de neutrones. Si la discriminación n/ γ es baja, se mezcla la señal que falla a la hora de reflejar las interacciones entre los neutrones y el objeto que se pretende inspeccionar, aumentando por consiguiente de este modo el denominado ruido de fondo.

25 Los neutrones tienen elevada capacidad para pasar a través de una sustancia sin interaccionar con la misma, y además los rayos de neutrones se detectan de forma habitual basándose en las reacciones de captura de neutrones en las cuales los neutrones se convierten rápidamente en partículas energéticas cargadas. Convencionalmente conocidos como detectores de ^3He , por ejemplo, se basan en una reacción de captura de neutrones por medio del isótopo ^3He , en los que los neutrones se detectan a través de la conversión en protones y triones, que son partículas energéticas cargadas. Dicho detector exhibe una elevada eficiencia de detección, y es excelente en cuanto a discriminación n/ γ , pero ^3He es una sustancia extremadamente costosa, y los recursos se están agotando en los últimos años, constituyendo todo ello un problema (véase el Documento que no es patente 1).

35 Los detectores que utilizan un centelleador de neutrones se han desarrollado recientemente como alternativas para los detectores de ^3He anteriormente mencionados. Un centelleador de neutrones indica en la presente memoria una sustancia que emite luz cuando impacta con los neutrones. Las diversas cuestiones de rendimiento de un detector de neutrones que utiliza dicho centelleador dependen de la sustancia que constituye en centelleador. Por ejemplo, la eficiencia de detección del centelleador frente a los neutrones depende del contenido de isótopo que es susceptible a la reacción de captura de neutrones. Además, la discriminación n/ γ depende de la densidad y el número atómico del centelleador. La probabilidad de interacciones con los rayos- γ disminuye, y se puede reducir el ruido de fondo procedente de los rayos- γ , si la densidad y el número atómico efectivo del centelleador son pequeños.

40 Hasta la fecha, se han desarrollado vidrio que contiene ^6Li y fibras de plástico cubiertas con ^6Li y ZnS(Ag) como centelleadores de neutrones, pero todavía existe oportunidad de mejora con respecto a la eficiencia de detección de neutrones y discriminación n/ γ (véase el Documento que no es patente 1).

Documentos de la técnica anterior

45 Documentos que no son patente

Documento que no es patente 1: Richard T. Kouzes, et al., "Neutron detection alternatives to ^3He for national security applications", Nuclear Instruments and Methods in Physic Research A 623 (2010) 1035-1045.

50 Documento que no es patente 2: Kawano T., et al., "Preparation crystal structure and photoluminescence of Mn^{2+} doped magnesium pyroborates solid solutions, $(\text{Mg}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{B}_2\text{O}_5$ ", Journal of Luminiscence 130 (2010) 2161-2165, describe la síntesis de disoluciones sólidas de piroborato de magnesio impurificado con manganeso (II) que muestra la absorción de las transiciones d-d de iones Mn^{2+} en el espectro de excitación de fotoluminiscencia.

Documentos de patente

El documento US 2003/160178 describe un centelleador de detección de neutrones que comprende un cristal individual de $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ o un cristal individual de $^6\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ o $^{11}\text{B}_4\text{O}_7$ enriquecido en ^{10}B o ^{11}B y ^6Li . Describe que ^6Li y

^{11}B o ^{10}B tienen cortes transversales grandes de captura de neutrones y que la fluorescencia que se emite a partir de una radiación ionizante generada a través de su reacción de captura de neutrones tiene un componente de vida corta no mayor de 10 ns. El documento además describe que dicho centelleador tiene un tiempo de desintegración muy corto, que puede capturar neutrones con alta eficiencia y que está formado por elementos de luz.

5 Divulgación de la invención

Problemas a solucionar por medio de la invención

Es un objetivo de la presente invención proporcionar el uso de un borato como centelleador de neutrones y un detector de neutrones que permite detectar neutrones con buena sensibilidad y que se ve poco afectado por el ruido de fondo procedente de los rayos- γ .

10 Medios para solucionar los problemas

Los inventores se han centrado en el isótopo ^{10}B , que exhibe eficiencia excelente en las reacciones de captura de neutrones, con vistas a la detección de neutrones con buena sensibilidad, y han llevado a cabo diversos estudios sobre el uso de un centelleador de neutrones en forma de un borato que contiene el isótopo de ^{10}B anteriormente mencionado. Como resultado de ello, los inventores encontraron que la incorporación de un elemento de transición divalente en un borato que comprende Mg permite la obtención de un centelleador que se ve poco afectado por el ruido de fondo procedente de los rayos- γ y que permite una elevada emisión de luminancia, y llevaron a cabo de este modo la presente invención.

Específicamente, la presente invención proporciona el uso de un borato que comprende al menos Mg y un elemento de transición divalente como centelleador de neutrones.

La presente invención proporciona también un detector de neutrones que comprende el centelleador de neutrones anteriormente mencionado y un fotodetector.

Efecto de la invención

De acuerdo con la presente invención, se puede proporcionar un centelleador de neutrones que permita detectar neutrones con buena sensibilidad, y que se vea poco afectado por el ruido de fondo procedente de los rayos- γ . El detector de neutrones que utiliza dicho centelleador de neutrones se puede usar de forma apropiada por ejemplo en el campo de la seguridad, por ejemplo en la inspección de cargas, en el campo de los ensayos industriales no destructivos o en el campo de la investigación académica, por ejemplo en análisis estructural por medio de difracción de neutrones.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama que ilustra las características de tensión-corriente medidas usando un detector de neutrones del Ejemplo 1; y

La Figura 2 es un diagrama que ilustra las características de tensión-corriente medidas usando un detector de neutrones del Ejemplo 2.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

El uso de acuerdo con la presente invención es el uso de un borato que comprende al menos Mg y un elemento de transición divalente como centelleador de neutrones. El centelleador de neutrones funciona como centelleador de neutrones a través de la emisión de luz de centelleo, basándose en el proceso descrito anteriormente, cuando el centelleador es impactado por neutrones. Cuando un neutrón impacta con el centelleador, en primer lugar la reacción de captura de neutrones tiene lugar entre el neutrón y el isótopo de ^{10}B en el centelleador, y se generan partículas α y de ^7Li como partículas secundarias. A continuación, el centelleador experimenta excitación por medio de las partículas secundarias, y emite luz de centelleo tras volver al estado fundamental por medio del elemento de transición divalente.

Es decir, el isótopo de ^{10}B es un componente esencial para detectar neutrones aprovechando una reacción de captura de neutrones. En la presente invención, se usa un borato como compuesto estable del isótopo de ^{10}B . Los compuestos de boro diferentes de borato exhiben pobre estabilidad química y seguridad biológica y, de este modo, son problemáticos en la práctica.

La abundancia natural del isótopo ^{10}B es elevada, de aproximadamente 20 % y además se puede usar un borato disponible de forma común que comprende boro natural en la presente invención. Preferentemente, no obstante, se usa un borato en el que la relación de isótopo de ^{10}B de boro es igual o mayor que la abundancia natural, con el fin de aumentar de forma adicional la sensibilidad de detección frente a los neutrones. Preferentemente, la relación de isótopo ^{10}B de boro se ajusta en un 50 % o más, y de forma particularmente preferida, en un 90 % o más.

El uso de acuerdo con la presente invención es el uso de un borato, entre los boratos anteriormente mencionados,

que comprende Mg y un elemento de transición divalente. En el borato que comprende Mg y un elemento de transición divalente, el borato que comprende Mg es un material hospedador de borato, y el elemento de transición divalente, que es un aditivo que se añade al material hospedador de borato, funciona como un elemento de centro de emisión que emite luz de centelleo.

- 5 En el material hospedador de borato, que es químicamente estable, Mg proporciona sitios de sustitución para el elemento de transición divalente, de forma que éste último se puede incorporarse fácilmente en el borato. Además, Mg tiene un número atómico pequeño, y además es posible reducir la influencia del ruido de fondo procedente de los rayos-γ.

10 Entre los materiales hospedadores de borato, se puede usar de manera apropiada el material hospedador de borato representado por medio de la fórmula química $Mg_mB_nO_{m+3n/2}$ (en la que m y n representan números enteros positivos) en la presente invención. En la fórmula química anterior, los límites superiores de m y n no están particularmente restringidos, sino que son normalmente de 10 o menos. Entre los materiales hospedadores de borato anteriores, MgB_4O_7 , $Mg_2B_2O_5$ y $Mg_3B_2O_6$ permiten aumentar el contenido del isótopo ^{10}B y, de este modo, se prefieren de forma particular.

- 15 En la presente invención, como se ha descrito anteriormente, el elemento de transición divalente funciona como un elemento de centro de emisión. Específicamente, el centelleador se excita por medio de partículas secundarias que se generan en la reacción de captura de neutrones entre los neutrones y el isótopo de ^{10}B ; posteriormente, el centelleador emite luz tras la relajación hasta el estado fundamental por medio de transiciones electrónicas, en el elemento de transición divalente. Si el elemento de transición divalente se encuentra ausente, por tanto, la luminancia de emisión es débil, y el centelleador no se puede usar como tal.

20 Entre los elementos de transición divalentes, se pueden usar de forma apropiada Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn en la presente invención, ya que tienen un número atómico reducido, y además permiten reducir la influencia del ruido de fondo procedente de los rayos-γ. En el caso de que el detector de neutrones de la presente invención utilice un elemento receptor de luz de silicio como fotodetector, entonces el más usado es Mn, preferentemente entre los elementos de transición divalentes. El rendimiento de señal del fotodetector se puede aumentar ya que Mn emite luz en una región de longitud de onda del rojo, y la sensibilidad de detección de luz del elemento receptor de luz de silicio es elevada en esa región de longitud de onda.

25 El elemento de transición divalente se puede incorporar al borato a través de sustitución de una parte de Mg en el borato anteriormente mencionado que comprende Mg. La presente invención requiere que tanto Mg como el elemento de transición divalente estén presentes en el borato. Si Mg se sustituye totalmente por el elemento de transición divalente, surge un problema debido a que la emisión por parte del elemento de transición divalente se ve atenuada de forma significativa por cuenta de la inactivación de la concentración y, como resultado de ello, el borato se vuelve no apto para uso en la presente invención. Cuando se incorpora el elemento de transición divalente en el borato, la proporción de Mg sustituido por el elemento de transición divalente se ajusta preferentemente en un intervalo de 0,001 a 0,5. Se puede aumentar la luminancia de emisión por medio del elemento de transición divalente ajustando la proporción en un valor de 0,001 o mayor, al tiempo que se evita la atenuación de la emisión por medio del elemento de transición divalente, por cuenta de la inactivación de concentración, ajustando la proporción en un valor de 0,5 o menor.

30 Tal y como se puede interpretar a partir de la explicación anterior, un modo preferido de la presente invención implica el uso de un borato que comprende al menos Mg y un elemento de transición divalente como centelleador de neutrones que comprende un borato representado por una de las fórmulas químicas $(A_xMg_{1-x})B_4O_7$, $(A_xMg_{1-x})_2B_2O_5$ y $(A_xMg_{1-x})_3B_2O_6$ (en la que A representa al menos un elemento de transición divalente escogido entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn, y x representa un valor numérico que varía de 0,001 a 0,5).

35 En la presente invención, preferentemente, se usa un borato que, además de los requisitos anteriores comprende Li. De igual forma que boro, el isótopo de 6Li de Li exhibe elevada eficiencia en las reacciones de captura de neutrones. Por tanto, la sensibilidad de detección frente a neutrones se ve mejorada de forma adicional a través del uso de un borato que comprende Li.

40 La abundancia natural del isótopo de 6Li es de aproximadamente un 7 % y se puede usar Li natural normalmente disponible en la presente invención. Preferentemente, no obstante, la relación isotópica de 6Li en Li aumenta hasta valores iguales o mayores que la abundancia natural, con el fin de aumentar de forma adicional la sensibilidad de detección frente a neutrones. Preferentemente, la relación isotópica de 6Li en el Li se ajusta en un valor de un 50 % o mayor, y de forma particularmente preferida, en un valor de un 90 % o mayor.

45 Un material de hospedador de borato que además comprende Li se puede usar de forma apropiada en la presente invención, con fórmula química tal como $Li_lMg_mB_nO_{1/2+m+3n/2}$ (en la que l, m y n son números enteros positivos). En la fórmula química anterior, los límites superiores de l, m y n no se encuentran particularmente restringidos, sino que son normalmente de 10 o menos. Entre los materiales hospedadores de borato anteriores, $LiMgBO_3$, $Li_2MgB_2O_5$ y $Li_4MgB_2O_6$ permiten aumentar el contenido del isótopo ^{10}B y el isótopo 6Li , y se prefieren de forma particular.

El tipo de elemento de transición divalente incorporado en el borato que además comprende Li, y la proporción a la

cual Mg se sustituye por el elemento de transición divalente, son idénticos a los descritos con anterioridad. Por consiguiente, un modo preferido de la presente invención implica el uso de un borato como centelleador de neutrones en el que borato viene representado por una cualquiera de las fórmulas químicas $\text{Li}(\text{A}_x\text{Mg}_{1-x})\text{BO}_3$, $\text{Li}_2(\text{A}_x\text{Mg}_{1-x})\text{B}_2\text{O}_5$ y $\text{Li}_4(\text{A}_x\text{Mg}_{1-x})\text{B}_2\text{O}_6$ (en la que A representa al menos un elemento de transición divalente escogido entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn, y x representa un valor numérico que varía de 0,001 a 0,5).

El centelleador de neutrones usado en la presente invención se puede usar en forma de un cristal o vidrio, pero se produce de forma habitual como un cristal y se usa de forma apropiada de ese modo. Entre los cristales, un centelleador de neutrones que comprende un policristal sinterizado se puede producir de forma barata y, por tanto, se puede usar de forma apropiada en la presente invención. Un centelleador de neutrones que comprenda un cristal individual permite lograr una intensidad de emisión elevada sin que se produzca disipación de luz en las fronteras de grano y, de este modo, se puede usar de forma apropiada en la presente invención.

El centelleador de neutrones usado en la presente invención se puede usar como detector de neutrones por medio de combinación con un fotodetector.

El fotodetector que se usa en la presente invención no se encuentra particularmente limitado, y se puede usar de forma apropiada como elemento receptor de luz de silicio, por ejemplo un fotodiodo de avalancha o similar, o un fotodetector convencionalmente conocido tal como un tubo fotomultiplicador.

Entre los fotodetectores anteriores, se prefieren los elementos receptores de luz de silicio ya que son baratos de conseguir, y se pueden disponer de forma sencilla elementos receptores de luz miniaturizados de ese tipo en una configuración en serie para dar lugar a un fotodetector sensible a la posición. Los ejemplos de dichos elementos receptores de luz de silicio que se pueden usar de forma apropiada incluyen, por ejemplo, un fotodiodo de avalancha (serie S8664, de HAMAMATSU PHOTONICS, K.K.).

El centelleador de neutrones usado en la presente invención se puede unir a la superficie receptora de luz del elemento receptor de luz de silicio o similar, usando cualquier grasa óptica tal como grasa de silicio transparente, para dar lugar a un detector de neutrones de la presente invención. Conectando el detector a cualquier dispositivo de medición de corriente (por ejemplo, un pico-amperímetro), resulta posible evaluar cambios del valor de corriente, y comprobar cambios del valor de corriente dependiendo de los cambios en la cantidad de luz recibida. Con el fin de mejorar la sensibilidad de recepción de luz, se puede aplicar una tensión de polarización inversa al elemento receptor de luz de silicio, en cuyo caso se puede usar un instrumento (por ejemplo, KEITHLEY 237 High Voltage Source-Measure Unit) que permita llevar a cabo mediciones de forma simultánea con aplicación de la tensión o corriente. El valor de la tensión de polarización inversa que se aplica se ajusta preferentemente de acuerdo con el rendimiento del elemento receptor de luz de silicio y de acuerdo con la cantidad de irradiación de neutrones que se pretende medir. El detector de neutrones se puede usar como detector de neutrones cuantitativo midiendo por adelantado la relación entre el valor de corriente y la cantidad de irradiación de los neutrones térmicos a un valor concreto de tensión de polarización inversa.

Ejemplos

A continuación, se explican los ejemplos de la presente invención con detalle. No todas las combinaciones de las características explicadas en los ejemplos son necesariamente esenciales para solucionar la presente invención.

Ejemplo 1

(Producción de un centelleador de neutrones)

En el presente ejemplo se produjo un policristal sinterizado de $(\text{Mn}_{0,05}\text{Mg}_{0,95})_2\text{B}_2\text{O}_5$, como centelleador de neutrones.

En la presente memoria, MnO, MgO y H_3BO_3 se usaron como materiales de partida. La pureza de los materiales de partida fue de un 99,9 %, 99,9 % y 99,99 %, respectivamente, y la relación isotópica de ^{10}B de H_3BO_3 fue de un 95. Se pesaron polvos de los materiales de partida anteriores para dar lugar a una relación molar de $\text{MnO}:\text{MgO}:\text{H}_3\text{BO}_3 = 0,05:0,95:1$, y se trituraron y mezclaron en un mortero de ágata, seguido de prensado por compresión, para producir pellas que tenían un diámetro de 6 mm y un espesor de 2,5 mm.

Se colocaron las pellas sobre una placa de Pt y se calentaron hasta 1000 °C a una tasa de aumento de temperatura de 200 °C/h. Esto vino seguido de combustión durante 24 horas a 1000 °C. La combustión se llevó a cabo bajo corriente de Ar. Para evitar la oxidación de Mn^{2+} a Mn^{3+} , se colocó polvo de $\alpha\text{-Fe}$ aguas arriba de la corriente de Ar.

El policristal sinterizado obtenido tuvo una densidad de 2,4 g/cm³, y se encontró que estaba formado por cristales de $(\text{Mn}_{0,05}\text{Mg}_{0,95})_2\text{B}_2\text{O}_5$ que pertenecían al sistema triclinico, grupo espacial P-1, sobre la base de los resultados de las mediciones por medio de difracción de rayos-X.

Se cortó el policristal sinterizado y se pulió, y se procesó para dar lugar a una forma de placa cuadrada de 5 mm x 5 mm x 0,2 mm, para generar el centelleador de neutrones de la presente invención.

(Producción de un detector de neutrones y evaluación de característica)

Se fabricó un detector de neutrones usando el centelleador de neutrones producido anteriormente, y se evaluaron las características del detector de neutrones.

Para el detector de neutrones, se usó un fotodiodo de avalancha (S8664-1010, de HAMAMATSU PHOTONICS K.K.), que es un elemento receptor de luz de silicio, como fotodetector. El centelleador de neutrones anterior de la presente invención se unió a la superficie receptora de luz del fotodiodo anterior, usando una grasa de silicio transparente, para dar lugar a un detector de neutrones de la presente invención.

Se conectó el detector de neutrones a un dispositivo de medición de corriente (KEITHLEY 237 High Voltage Source Measure Unit) y se midieron los valores de corriente al tiempo que se aplicó una tensión de polarización inversa de 300 a 400 V, para evaluar la característica de tensión-corriente.

Se colocó el detector de neutrones sobre un puerto de JRR-3 MUSASI, y se evaluó la característica de tensión-corriente al tiempo que se irradiaron los neutrones térmicos emitidos por el puerto sobre el detector de neutrones. La cantidad de neutrones emitida por el puerto es de aproximadamente 8×10^5 neutrones/cm².

Los resultados obtenidos se ilustran en la Figura 1. La línea continua y la línea discontinua de la Figura 1 son características de tensión-corriente en un caso en el que se emitieron neutrones térmicos a través de la abertura del puerto, y corresponden, respectivamente, a una característica de tensión-corriente en un caso en el que se irradiaron los neutrones térmicos directamente sobre el detector de neutrones, y un caso en el que los neutrones térmicos se bloquearon mediante interposición de una plancha metálica de cadmio (1 mm de grosor), presentando un eficiencia de absorción elevada frente a los neutrones térmicos, entre el puerto y el detector de neutrones de la presente invención. La línea de puntos-rayas de la Figura 1 indica una característica de tensión-corriente en un caso en el que el puerto se cerró y no se emitieron neutrones.

Es decir, la línea de puntos-rayas de la Figura 1 corresponde a la denominada corriente oscura y representa el ruido eléctrico procedente del fotodiodo de avalancha. La plancha metálica de cadmio bloquea los neutrones térmicos, pero no los rayos-γ. Por tanto, la línea discontinua de la Figura 1 es una característica de tensión-corriente en un momento en el que únicamente los rayos-γ que acompañan a los neutrones térmicos son irradiados sobre el detector de neutrones, y la diferencia entre la línea discontinua y la línea de puntos-rayas representa el ruido de fondo procedente de los rayos-γ. La línea continua de la Figura 1 es la característica de tensión-corriente en un momento en el que los neutrones térmicos y los rayos-γ que acompañan a estos últimos son irradiados sobre el detector de neutrones, y la diferencia entre la línea continua y la línea discontinua representa la intensidad de señal que se basa en la detección de los neutrones térmicos.

En la Figura 1, por ejemplo el valor de corriente para una tensión de polarización de 350 V es de 21,4 nA en la línea continua y de 19,2 nA en la línea discontinua. Por tanto, la intensidad de señal basada en la detección de neutrones térmicos es suficientemente grande, de 2,2 nA, lo cual indica que el detector de neutrones de la presente invención es eficaz. Para la línea de puntos-rayas, el valor es de 18,9 nA, y el ruido de fondo procedente de los rayos-γ es por consiguiente muy pequeño, de 0,3 nA. Esto indica que el detector de la presente invención se ve afectado poco por el ruido de fondo procedente de los rayos-γ.

Ejemplo 2

(Producción de un centelleador de neutrones)

En el presente ejemplo se produjo un material compacto sinterizado policristalino de $\text{Li}(\text{Mn}_{0,05}\text{Mg}_{0,95})\text{BO}_3$, como centelleador de neutrones.

En este caso, se usaron Li_2CO_3 , MnO , MgO y H_3BO_3 como materiales de partida. La pureza de los materiales de partida fue de un 99,9 %, 99,9 %, 99,9 % y 99,99 %, respectivamente. La relación isotópica de ^6Li de Li_2CO_3 y la relación isotópica de ^{10}B de H_3BO_3 fueron de un 7 % y un 95 %, respectivamente. Se pesaron polvos de los materiales de partida anteriores para dar lugar a una relación molar de $\text{Li}_2\text{CO}_3:\text{MnO}:\text{MgO}:\text{H}_3\text{BO}_3 = 0,5:0,05:0,95:1$, y se trituraron y mezclaron en un mortero de ágata, seguido de prensado por compresión, para producir pellas que tenían un diámetro de 8 mm y un espesor de 2,5 mm.

Se colocaron las pellas sobre una plancha de Pt y se calentaron a 750 °C a una tasa de aumento de temperatura de 200 °C/h, seguido de calcinación a 750 °C durante 2 horas. Se pulverizaron las pellas obtenidas, y se prepararon para dar lugar a pellas una vez más. Como se ha descrito anteriormente, se colocaron las pellas en una plancha de Pt y se calentaron hasta 800 °C a una tasa de aumento de temperatura de 200 °C/h. Esto vino seguido de combustión durante 12 horas a 800 °C. Se llevaron a cabo la calcinación y la combustión bajo corriente de Ar. Para evitar la oxidación de Mn^{2+} a Mn^{3+} , se colocó un polvo de α-Fe aguas arriba de la corriente de Ar.

El policristal sinterizado obtenido tuvo una densidad de 2,04 g/cm³, y se encontró que estaba formado por cristales de $\text{Li}(\text{Mn}_{0,05}\text{Mg}_{0,95})\text{BO}_3$ que pertenecían al sistema monoclinico, grupo espacial C2/c, sobre la base de los resultados de las mediciones por medio de difracción de rayos-X.

Se cortó el policristal sinterizado y se pulió, y se procesó para dar lugar a una forma de placa cuadrada de 8 mm x 0,5 mm, para generar el centelleador de neutrones de la presente invención.

(Producción de un detector de neutrones y evaluación de característica)

- 5 Se produjo un detector de neutrones de la misma forma que en el Ejemplo 1, pero usando en este caso un centelleador de neutrones que comprendía $\text{Li}(\text{Mn}_{0,05}\text{Mg}_{0,95})\text{BO}_3$ producido como se ha descrito anteriormente, y se evaluó la característica de detección de neutrones del detector de neutrones.

Los resultados obtenidos se ilustran en la Figura 2. La línea continua, la línea discontinua y la línea de puntos-rayas de la Figura 2 indican las características de tensión-corriente en las mismas condiciones que la Figura 1.

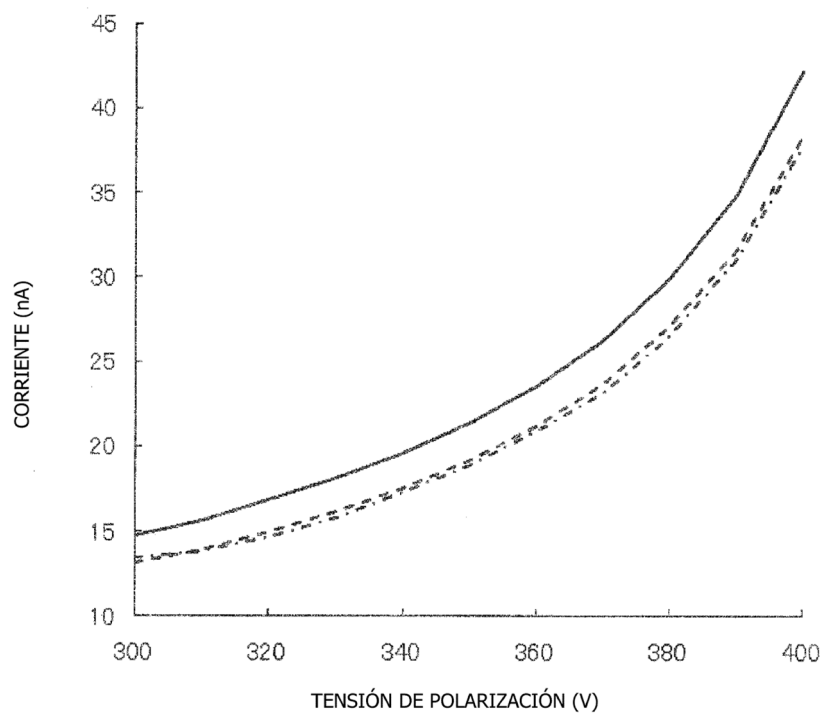
- 10 En la Figura 2, por ejemplo el valor de corriente para la tensión de polarización de 350 V es de 16,0 nA en la línea continua y de 13,4 nA en la línea discontinua. Por tanto, la intensidad de una señal basada en la detección de neutrones térmicos es suficientemente grande, de 2,6 nA, lo cual indica que el detector de neutrones de la presente invención es eficaz. Para la línea de puntos-rayas, el valor es de 13,1 nA, y el ruido de fondo procedente de los rayos- γ es por consiguiente muy reducido, de 0,3 nA. Esto indica que el detector de la presente invención se ve poco afectado por el ruido de fondo procedente de los rayos- γ .

15

REIVINDICACIONES

- 1.- Uso de un borato que contiene al menos Mg y un elemento de transición divalente como centelleador de neutrones.
- 5 2.- El uso de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la relación isotópica de ^{10}B de boro es de un 50 % o mayor.
- 3.- El uso de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el centelleador comprende un borato representado por cualquier fórmula química $(\text{A}_x\text{Mg}_{1-x})\text{B}_4\text{O}_7$, $(\text{A}_x\text{Mg}_{1-x})_2\text{B}_2\text{O}_5$ y $(\text{A}_x\text{Mg}_{1-x})_3\text{B}_2\text{O}_6$ (en la que A representa al menos un elemento de transición divalente escogido entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn, y x representa un valor numérico que
10 varía de 0,001 a 0,5).
- 4.- El uso de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el centelleador comprende un borato que además comprende Li.
- 15 5.- El uso de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la relación isotópica de ^6Li de Li es de un 50 % o mayor.
- 6.- El uso de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, en el que el centelleador comprende un borato representado por cualquier fórmula química $\text{Li}(\text{A}_x\text{Mg}_{1-x})\text{BO}_3$, $\text{Li}_2(\text{A}_x\text{Mg}_{1-x})\text{B}_2\text{O}_5$ y $\text{Li}_4(\text{A}_x\text{Mg}_{1-x})\text{B}_2\text{O}_6$ (en la que A representa al menos un elemento de transición divalente escogido entre Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn, y x representa un valor numérico que
20 varía de 0,001 a 0,5).
- 7.- Un detector de neutrones, que comprende un centelleador de neutrones de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 6 y un fotodetector.
- 25 8.- El detector de neutrones de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el fotodetector es un elemento receptor de luz de silicio.

[FIG. 1]



[FIG. 2]

