

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 713 416**

51 Int. Cl.:

**G21G 1/02** (2006.01)

**H05H 6/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.01.2015 PCT/EP2015/051842**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2016 WO16119862**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2015 E 15703039 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 3251125**

54 Título: **Método de preparación de blancos de irradiación para la producción de radiosótopos y blanco de irradiación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.05.2019**

73 Titular/es:  
**FRAMATOME GMBH (100.0%)  
Paul-Gossen-Strasse 100  
91052 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:  
**SCHUSTER, BEATRICE;  
BATHOLT, ROBERT y  
GÖSSWEIN, KARL**

74 Agente/Representante:  
**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 713 416 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**

Método de preparación de blancos de irradiación para la producción de radiosótopos y blanco de irradiación

**5 Campo técnico de la invención**

La presente invención se refiere a un método para preparar blancos de irradiación usados para producir radiosótopos en los tubos de instrumentación de un reactor nuclear, y a un blanco de irradiación obtenido mediante este método.

10

**Antecedentes de la invención**

Los radiosótopos tienen aplicación en diversos campos tales como la industria, la investigación, la agricultura y la medicina. Los radiosótopos artificiales se producen normalmente exponiendo un material del blanco adecuado al flujo de neutrones en un ciclotrón o en un reactor de investigación nuclear durante un tiempo apropiado. Los sitios de irradiación en reactores de investigación nuclear son costosos y serán incluso más escasos en el futuro debido al paro de los reactores por envejecimiento.

15

El documento EP 2 093 773 A2 se refiere a un método de producción de radiosótopos usando los tubos de instrumentación de un reactor nuclear comercial, comprendiendo el método: seleccionar al menos un blanco de irradiación con una sección transversal de neutrones conocida; insertar el blanco de irradiación en un tubo de instrumentación de un reactor nuclear, extendiéndose el tubo de instrumentación en el reactor y teniendo este una abertura accesible desde el exterior del reactor a fin de exponer el blanco de irradiación al flujo de neutrones que se encuentra en el reactor nuclear cuando está en funcionamiento, convertir sustancialmente el blanco de irradiación en un radioisótopo cuando se expone a un flujo de neutrones que se encuentra en el reactor nuclear, en el que la inserción incluye colocar el blanco de irradiación en una posición axial en el tubo de instrumentación durante una cantidad de tiempo correspondiente al tiempo requerido para convertir sustancialmente todo el blanco de irradiación en un radioisótopo a un nivel de flujo correspondiente a la posición axial basado en el perfil de flujo axial de los neutrones del reactor nuclear en funcionamiento; y retirar el blanco de irradiación y el radioisótopo producido del tubo de instrumentación.

20

25

30

Los blancos de irradiación más o menos esféricos suelen ser generalmente huecos e incluyen un material sólido, líquido y/o gaseoso que se convierte en un radioisótopo sólido, líquido y/o gaseoso útil. La cubierta que rodea al material del blanco puede experimentar cambios físicos insignificantes cuando se expone a un flujo de neutrones. De forma alternativa, los blancos de irradiación pueden ser generalmente sólidos y se fabrican a partir de un material que se convierte en un radioisótopo útil cuando se expone al flujo de neutrones presente en un reactor nuclear comercial en funcionamiento.

35

La densidad de flujo neutrónico en el núcleo de un reactor nuclear comercial se mide, entre otros, introduciendo sondas sólidas esféricas de un sistema de medición de bolas en los tubos de instrumentación que pasan a través del núcleo del reactor usando aire a presión para mover las sondas. Sin embargo, hasta la fecha no existen blancos de irradiación apropiados disponibles que tengan la estabilidad mecánica y química requerida para su inserción en tubos de instrumentación de un sistema de medición de bolas, y su retirada de los mismos, y que sean capaces de soportar las condiciones presentes en el núcleo del reactor nuclear.

40

45

El documento EP1 336 596 B1 divulga un cuerpo de óxido de un metal de las tierras raras sinterizado y transparente representado por la fórmula general  $R_2O_3$  en la que R es al menos un elemento del grupo que comprende Y, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu. El cuerpo sinterizado se prepara proporcionando una mezcla de un aglutinante y un polvo de un material de óxido de un metal de las tierras raras de alta pureza que tiene una pureza del 99,9 % o superior, y que tiene un contenido de Al de 5-100 ppm en peso del peso del metal y un contenido de Si de 10 ppm en peso, o inferior, del peso del metal, para preparar un cuerpo de moldeo que tiene una densidad en verde del 58 %, o superior, de la densidad teórica. El aglutinante se elimina mediante tratamiento térmico, y el cuerpo de moldeo se sinteriza en una atmósfera de hidrógeno o un gas inerte o al vacío, a una temperatura de entre 1450 °C y 1700 °C durante 0,5 horas o más. La adición de Al actúa como adyuvante de sinterización y es controlada cuidadosamente de modo que el cuerpo sinterizado tenga un tamaño medio de partícula de entre 2 y 20  $\mu\text{m}$ .

50

55

El documento US 8 679 998 B2 divulga un componente resistente a la corrosión para su uso en un aparato de fabricación de semiconductores. Una materia prima de  $Yb_2O_3$  que tiene una pureza de al menos un 99,9 % se somete a una estampación uniaxial a una presión de 200  $\text{kgf/cm}^2$  (19,6 MPa), a fin de obtener un material compacto con forma de disco que tiene un diámetro de aproximadamente 35 mm y un espesor de aproximadamente 10 mm. El material compacto se coloca en un molde de grafito para su calcinación. La calcinación se lleva a cabo usando un método de prensa caliente a una temperatura de 1800 °C en una atmósfera de Ar durante al menos 4 horas a fin de obtener un componente resistente a la corrosión para un aparato de fabricación de semiconductores. La presión durante la calcinación es de 200  $\text{kgf/cm}^2$  (19,6 MPa). El cuerpo sinterizado de  $Yb_2O_3$  tiene una porosidad abierta del 0,2 %.

60

65

Los métodos anteriores proporcionan normalmente cuerpos sinterizados de óxidos de un metal de las tierras raras adaptados a aplicaciones específicas tales como de resistencia a la corrosión o transparencia óptica. Sin embargo, ninguno de los cuerpos sinterizados producidos mediante estos métodos tiene las propiedades requeridas para los blancos de irradiación usados en la producción de radioisótopos en reactores nucleares comerciales.

5

### Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar blancos apropiados que se puedan usar como precursores para la producción de radioisótopos predeterminados mediante exposición a un flujo de neutrones en un reactor nuclear comercial y que, al mismo tiempo, sean capaces de soportar las condiciones específicas en un sistema de medición de bolas neumático.

10

Otro objeto de la invención es proporcionar un método para la producción de estos blancos de irradiación que sea rentable y adecuado para la producción en masa.

15

De acuerdo con la invención, este objeto se resuelve mediante un método para la producción de blancos de irradiación de acuerdo con la reivindicación 1.

20

Realizaciones preferentes de la invención se dan en las reivindicaciones dependientes, las cuales se pueden combinar libremente entre sí.

Los blancos de irradiación obtenidos mediante el método de la presente invención tienen dimensiones reducidas adaptadas para su uso en sistemas de medición de bolas existentes en el mercado, y satisfacen también los requerimientos relativos a la resistencia a la presión, resistencia a la temperatura y resistencia al cizallamiento de modo que son suficientemente estables cuando se insertan en un sistema de medición de bolas y se transportan a través del núcleo del reactor por medio de aire a presión. Además, los blancos se pueden proporcionar con una superficie lisa para evitar la abrasión de los tubos de instrumentación. Asimismo, los blancos de irradiación tienen una pureza química que los hace útiles para la producción de radioisótopos.

25

En particular, la invención proporciona un método de preparación de blancos de irradiación para la producción de radioisótopos en tubos de instrumentación de un reactor nuclear, comprendiendo el método las etapas de:

30

proporcionar un polvo de un óxido de un metal de las tierras raras que tiene una pureza superior al 99 %;

35

compactar el polvo en un molde para formar un cuerpo verde sustancialmente esférico que tiene una densidad en verde de al menos un 50 por ciento de la densidad teórica; y

sinterizar el cuerpo verde en una fase sólida a una temperatura de al menos un 70 por ciento de la temperatura sólida del polvo de un óxido de un metal de las tierras raras y durante un tiempo suficiente para formar un blanco de un óxido de un metal de las tierras raras sinterizado sustancialmente esférico que tiene una densidad de sinterizado de al menos un 80 por ciento de la densidad teórica.

40

La invención recurre a procesos conocidos de la fabricación de materiales cerámicos sinterizados y, por tanto, se puede llevar a cabo en un equipo disponible en el mercado, incluyendo moldes apropiados, prensas e instalaciones de sinterización. El moldeo por compresión permite también proporcionar los blancos con diversas formas, incluyendo formas y dimensiones redondas o sustancialmente esféricas, las cuales facilitan su uso en los tubos de instrumentación existentes para sistemas de medición de bolas. Así pues, los costes de preparación de los blancos de irradiación se pueden mantener bajos ya que será posible la producción en masa de blancos de precursores de radioisótopos adecuados. El método también es variable y útil para producir muchos blancos diferentes con la pureza química requerida. Adicionalmente, se ha encontrado que los blancos sinterizados son mecánicamente estables y, en particular, resistentes al transporte dentro de los tubos de instrumentación usando aire a presión incluso a temperaturas de hasta 400 °C presentes en el núcleo del reactor nuclear.

45

50

De acuerdo con una realización preferente, el óxido está representado por la fórmula general  $R_2O_3$  en la que R es un metal de las tierras raras seleccionado entre el grupo que consiste en Nd, Sm, Y, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu.

55

Más preferentemente, el metal de las tierras raras es Sm, Y, Ho o Yb, preferentemente Yb-176 que es útil para producir Lu-177, o Yb-168, que se puede usar para producir Yb-169.

60

Más preferentemente, el metal de las tierras raras en el óxido de un metal de las tierras raras es monoisotópico. Esto asegura un alto rendimiento del radioisótopo deseado y reduce los esfuerzos y costes de la purificación.

De acuerdo con una realización preferente adicional, el polvo del óxido de un metal de las tierras raras tiene una pureza superior al 99 %, más preferentemente superior al 99,9 %/TREO (TREO = óxidos de tierras raras totales (*Total Rare Earth Oxide*)), o incluso superior al 99,99 %. Los inventores consideran que la ausencia de alúmina como impureza es beneficiosa para la sinterabilidad del óxido de un metal de las tierras raras y el uso posterior del

65

## ES 2 713 416 T3

blanco sinterizado como precursor del radioisótopo. Los inventores consideran también que las impurezas que capturan neutrones tales como B, Cd, Gd deben estar ausentes.

5 Preferentemente, el polvo del óxido de un metal de las tierras raras tiene un tamaño promedio de partícula en el intervalo entre 5 y 50  $\mu\text{m}$ . La distribución de los tamaños de partícula es preferentemente de  $d_{50} = 10 \mu\text{m}$  y  $d_{100} = 30 \mu\text{m}$  a  $d_{50} = 25 \mu\text{m}$  y  $d_{100} = 50 \mu\text{m}$ . Los polvos de óxidos compactables están disponibles en el mercado en ITM Isotopen Technologie Munchen AG.

10 Lo más preferente es que el polvo esté enriquecido en Yb-176 con un grado de enriquecimiento  $> 99 \%$ .

10 En una realización preferente adicional, el polvo del óxido de un metal de las tierras raras se moldea para formar un cuerpo verde sustancialmente esférico, y se compacta a una presión en el intervalo entre 1 y 600 MPa. El moldeo y la compactación se pueden efectuar en un equipo disponible en el mercado que es conocido por el experto en la técnica.

15 La expresión "sustancialmente esférico" significa que el cuerpo es capaz de rodar, aunque no es necesario que tenga la forma de una esfera perfecta.

20 Preferentemente, el molde está hecho de acero endurecido a fin de evitar una incorporación de impurezas desde el material del molde durante la compactación del cuerpo verde.

25 Lo más preferente es que el óxido de un metal de las tierras raras se moldee y se compacte para dar el cuerpo verde sin el uso de un aglutinante, y sin el uso de adyuvantes de sinterización. Así pues, el polvo que se va a moldear y compactar consiste en el óxido de un metal de las tierras raras que tiene una pureza superior al 99 %, preferentemente superior al 99,9 por ciento o superior al 99,99 por ciento. Los inventores descubrieron que los aglutinantes y/o los adyuvantes de sinterización usados normalmente para sinterizar los óxidos de un metal de las tierras raras pueden ser una fuente de impurezas no deseadas, aunque el uso de estos aditivos no es necesario para obtener un blanco de un óxido de un metal de las tierras raras sinterizado que tenga una densidad suficiente.

30 Preferentemente, la densidad en verde del cuerpo verde tras el moldeo y la compactación es de hasta un 65 por ciento de la densidad teórica y, más preferentemente, está en un intervalo de un 55 a un 65 por ciento de la densidad teórica. La elevada densidad en verde facilita el procesado automatizado del cuerpo verde compactado.

35 Opcionalmente, el cuerpo verde esférico se puede pulir para mejora su esfericidad o redondez.

40 En la etapa de sinterización, el cuerpo verde compactado se mantiene preferentemente a una temperatura de sinterización de entre un 70 y un 80 por ciento de la temperatura sólida del óxido de un metal de las tierras raras. Más preferentemente, la temperatura de sinterización está en el intervalo de entre 1650 y 1800 °C. Los inventores descubrieron que una temperatura de sinterización en este intervalo es adecuada para sintetizar la mayoría de los óxidos de un metal de las tierras raras hasta una densidad de al menos un 80 por ciento, preferentemente de al menos un 90 por ciento, de la densidad teórica.

45 Preferentemente, el cuerpo verde se mantiene a la temperatura de sinterización y se sinteriza durante un tiempo de 4 a 24 horas, preferentemente a presión atmosférica.

De acuerdo con una realización preferente, el cuerpo verde se sinteriza en una atmósfera oxidante tal como en una mezcla de nitrógeno y oxígeno, preferentemente aire sintético.

50 Aunque es menos preferente, el cuerpo verde se puede sinterizar también en una atmósfera reductora tal como una mezcla que consiste en nitrógeno e hidrógeno.

55 Opcionalmente, el blanco de un óxido de un metal de las tierras raras sinterizado se puede pulir o esmerilar para eliminar residuos superficiales y mejorar su rugosidad superficial. Este tratamiento tras la sinterización puede reducir la abrasión de los tubos de instrumentación por parte de los blancos sinterizados cuando se insertan estos a presión elevada.

60 En un aspecto adicional, la invención se refiere a un blanco sinterizado obtenido mediante el método anteriormente descrito, en el que el blanco sinterizado es sustancialmente esférico y tiene una densidad de al menos un 80 por ciento de la densidad teórica, y en el que el óxido de un metal de las tierras raras tiene una pureza superior al 99 %, preferentemente superior al 99,9 por ciento o superior al 99,99 por ciento.

65 Preferentemente, el blanco sinterizado tiene una densidad de al menos un 90 por ciento de la densidad teórica y una porosidad inferior a un 10 %. La densidad y, por tanto, la porosidad se pueden determinar mediante medición en un picnómetro.

El tamaño promedio de partícula del blanco sinterizado está preferentemente en el intervalo entre 5 y 50  $\mu\text{m}$ . Los

inventores descubrieron que es preferente un tamaño de partícula en este intervalo para proporcionar el blanco sinterizado con una dureza y una resistencia mecánica suficientes a fin de soportar las condiciones de impacto en sistemas de medición de bolas neumáticos.

5 Preferentemente, el blanco sinterizado tiene un diámetro en el intervalo de 1 a 5 mm, preferentemente de 1 a 3 mm. Se entiende que la sinterización implica una contracción del orden de hasta el 30 %. Así, las dimensiones del cuerpo verde se seleccionan de modo que la contracción durante la sinterización dé como resultado blancos sinterizados con un diámetro predeterminado para su inserción en sistemas de medición de bolas comerciales.

10 Preferentemente, los blancos obtenidos mediante el método de la presente invención son resistentes a una presión neumática de entrada de 1 MPa (10 bar) usada en sistemas de medición de bolas comerciales y una velocidad de impacto de 10 m/s. Además, puesto que los blancos se han sometido a temperaturas de sinterización elevadas, se entiende que los blancos sinterizados son capaces de soportar temperaturas de procesado del orden de aproximadamente 400 °C presentes en el núcleo de un reactor nuclear en funcionamiento.

15 De acuerdo con un aspecto adicional de la invención, los blancos sinterizados de un óxido de un metal de las tierras raras se usan para producir uno o más radiosótopos en un tubo de instrumentación de un reactor nuclear durante la operación de producción de energía. En un método de producción de radiosótopos, los blancos sinterizados se insertan en un tubo de instrumentación que se extiende en el núcleo del reactor por medio de aire a presión, preferentemente a una presión de aproximadamente 0,7 a 3 MPa (7 a 30 bar), y se exponen al flujo de neutrones que se encuentra en el reactor nuclear cuando está en funcionamiento, durante un período de tiempo predeterminado, de modo que el blanco sinterizado se convierta sustancialmente en un radioisótopo, y se eliminen el blanco sinterizado y el radioisótopo producido del tubo de instrumentación.

25 Preferentemente, el óxido de un metal de las tierras raras es iterbia-176 y el radioisótopo preferente es Lu-177. Tras la exposición al flujo de neutrones, los blancos sinterizados se disuelven en ácido y el Lu-177 se extrae, por ejemplo, tal como se divulga en la patente europea EP 2 546 839 A1 que se incorpora en el presente documento por referencia. El Lu-177 es un radioisótopo que tiene aplicaciones específicas en la terapia del cáncer y la obtención de imágenes médicas.

30 La construcción y el método de operación de la invención, junto con objetos adicionales y ventajas de la misma, se comprenderán mejor a partir de la siguiente descripción de realizaciones específicas.

**Descripción detallada de realizaciones preferentes**

35 De acuerdo con el método de la presente invención, se produjo un blanco de iterbia sinterizado proporcionado un polvo de iterbia, compactando el polvo en un molde para formar un cuerpo verde sustancialmente esférico, y sinterizando el cuerpo verde en una fase sólida para formar un blanco de iterbia sustancialmente esférico.

40 El polvo de iterbia tenía una pureza superior al 99 %/TREO, usando la siguiente especificación:

Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TREO (% min)	99,9
TREO (% min)	99
Pérdida en la ignición (% máx.)	1
<b>Impurezas de tierras raras</b>	<b>% máx.</b>
Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> /TREO	0,001
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TREO	0,001
HO <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TREO	0,001
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TREO	0,01
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TREO	0,01
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TREO	0,001
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TREO	0,001
<b>Impurezas no de tierras raras</b>	<b>% máx.</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,001

SiO <sub>2</sub>	0,01
CaO	0,01
Cl <sup>-</sup>	0,03
NiO	0,001
ZnO	0,001
PbO	0,001

No se añadieron ni aglutinante ni adyuvantes de sinterización al polvo de iterbia.

5 El polvo de iterbia se moldeó en cuerpos verdes sustancialmente esféricos y se compactó a una presión de aproximadamente 580 MPa. Se obtuvieron cuerpos verdes con una densidad de aproximadamente 6 g/cm<sup>3</sup> correspondiente a una densidad en verde de aproximadamente un 65 por ciento de la densidad teórica.

10 Los cuerpos verdes de iterbia sustancialmente esféricos se sinterizaron en una fase sólida manteniéndolos a una temperatura de aproximadamente 1700 °C durante al menos cuatro horas en una atmósfera de aire sintético a presión atmosférica. Los cuerpos verdes de iterbia se colocaron en cajas de recocido de MgO para evitar la incorporación de alúmina procedente del horno de sinterización.

15 Se obtuvieron blancos de iterbia sinterizados con una forma sustancialmente esférica que tenían un diámetro de aproximadamente 1,5 a 2 mm y una densidad de sinterizado de aproximadamente 8,6 a 8,7 g/cm<sup>3</sup>, correspondiente a aproximadamente un 94-95 por ciento de la densidad teórica. La porosidad de las bolas de iterbia sinterizadas se determinó que era inferior a un 10 por ciento mediante medición por inmersión y microscopía óptica.

20 Se llevaron a cabo ensayos con un dilatómetro sobre los cuerpos verdes de iterbia usando una velocidad de calentamiento de 5 K/min. Los ensayos muestran que se produce una contracción sustancial solamente a temperaturas por encima de los 1650 °C y no era totalmente completa a 1700 °C. Así pues, las temperaturas de sinterización en el intervalo entre 1700 y 1800 °C son preferentes para sinterizar la iterbia y otros óxidos de un metal de las tierras raras.

25 En ensayos adicionales, se varió la atmósfera de sinterización de una atmósfera oxidante que consistía en aire sintético a una atmósfera reductora que consistía en nitrógeno e hidrógeno. Los blancos de iterbia sinterizados obtenidos de la sinterización en atmósfera reductora tenían un color oscuro que indicaba un cambio de la composición estequiométrica. La densidad de los blancos sinterizados era de aproximadamente 8,3 g/cm<sup>3</sup>, correspondiente a aproximadamente un 90,7 por ciento de la densidad teórica. De acuerdo con esto, es posible el uso de una atmósfera de sinterización reductora si bien es menos preferente.

30 La estabilidad mecánica de los blancos de iterbia sinterizados se ensayó insertando los blancos en un sistema de medición de bolas de laboratorio usando una presión de entrada de 1 MPa (10 bar) y generando una velocidad de impacto de aproximadamente 10 m/s. Los ensayos mostraban que los blancos sinterizados no se rompían en estas condiciones.

35 La iterbia-176 se considera útil para la producción del radioisótopo Lu-177 que tiene aplicaciones en la obtención de imágenes médicas y la terapia del cáncer, pero que no puede ser almacenado durante un largo periodo de tiempo debido a su corto periodo de semidesintegración de aproximadamente 6,7 días. El Yb-176 se convierte en Lu-177 de acuerdo con la siguiente reacción:



45 Así pues, los blancos sinterizados del óxido iterbia obtenidos mediante el método de la presente invención son precursores útiles para la producción de Lu-177 en los tubos de instrumentación de un reactor nuclear durante la operación de producción de energía. Reacciones similares son conocidas por el experto en la materia para la producción de otros radioisótopos a partir de diversos precursores de óxidos de tierras raras.

## REIVINDICACIONES

1. Un método para preparar blancos de irradiación para la producción de radioisótopos en tubos de instrumentación de un reactor nuclear, comprendiendo el método las etapas de:
- 5 proporcionar un polvo de un óxido de un metal de las tierras raras que tiene una pureza superior al 99 %; compactar el polvo en un molde para formar un cuerpo verde sustancialmente esférico que tiene una densidad en verde de al menos un 50 por ciento de la densidad teórica; y sinterizar el cuerpo verde en una atmósfera oxidante en una fase sólida a una temperatura de al menos un 70 por ciento de la temperatura sólida del polvo del óxido de un metal de las tierras raras y durante un tiempo suficiente para formar un blanco de un óxido de un metal de las tierras raras sinterizado sustancialmente esférico que tiene una densidad de sinterizado de al menos un 80 por ciento de la densidad teórica.
- 10
2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el metal de las tierras raras se selecciona entre el grupo que consiste en Nd, Sm, Y, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu, preferentemente en el que el metal de las tierras raras es Sm, Y, Ho o Yb, más preferentemente Yb-176.
- 15
3. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que el polvo del óxido de un metal de las tierras raras tiene una pureza superior al 99 %, preferentemente superior al 99,9 por ciento.
- 20
4. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el metal de las tierras raras es monoisotópico.
5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el polvo se compacta a una presión en el intervalo entre 1 y 600 MPa o, preferentemente, en el que la densidad en verde está en el intervalo de un 55 a un 65 por ciento de la densidad teórica.
- 25
6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la temperatura de sinterización es de entre un 70 y un 80 por ciento de la temperatura sólida del óxido de un metal de las tierras raras.
- 30
7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la temperatura de sinterización está en el intervalo de 1650 a 1800 °C.
8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo verde se sinteriza durante un tiempo de 4 a 24 horas.
- 35
9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo verde se sinteriza a presión atmosférica.
- 40
10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo verde se sinteriza en una atmósfera que consiste en nitrógeno y oxígeno, preferentemente aire sintético.
11. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo verde se sinteriza a una densidad de al menos un 90 por ciento de la densidad teórica o, preferentemente, en el que el blanco sinterizado tiene una porosidad inferior a un 10 %.
- 45
12. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el blanco sinterizado tiene un diámetro en el intervalo de 1 a 5 mm, preferentemente de 1 a 3 mm.
- 50
13. Un blanco de un óxido de un metal de las tierras raras sinterizado obtenido mediante el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que tiene un diámetro en el intervalo de 1 a 5 mm y un tamaño promedio de partícula en el intervalo entre 5 y 50  $\mu\text{m}$ , siendo el blanco sinterizado sustancialmente esférico y teniendo una densidad de al menos un 80 por ciento de la densidad teórica, teniendo el óxido de un metal de las tierras raras una pureza superior a un 99 %, y siendo el blanco resistente a una presión neumática de transporte de 1 MPa (10 bar) y a una velocidad de impacto de 10 m/s.
- 55
14. Uso del blanco de un óxido de un metal de las tierras raras sinterizado de acuerdo con la reivindicación 13 para la producción de un radioisótopo en un tubo de instrumentación de un reactor nuclear durante la operación de producción de energía.
- 60
15. El uso de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el óxido de un metal de las tierras raras es iterbia y el radioisótopo es Lu-177.