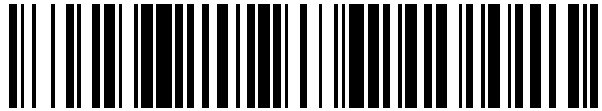


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 413**

51 Int. Cl.:

**F04D 29/02** (2006.01)

**F04D 29/12** (2006.01)

**G21C 15/243** (2006.01)

**F16J 15/34** (2006.01)

**G21D 1/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2014 PCT/EP2014/065726**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.01.2015 WO15011141**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2014 E 14741890 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.11.2017 EP 3025352**

54 Título: **Sello de estanqueidad para sistema de estanqueidad de un eje y procedimiento para estructurar su cristal**

30 Prioridad:  
**24.07.2013 FR 1357297**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**05.03.2018**

73 Titular/es:  
**AREVA NP (100.0%)  
Tour AREVA, 1 Place Jean Millier  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:  
**TEBBY, ZOÉ**

74 Agente/Representante:  
**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 657 413 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

Sello de estanqueidad para sistema de estanqueidad de un eje y procedimiento para estructurar su cristal

### Campo técnico

5 El campo de la invención es el de los grupos de motobombas primarias de reactores nucleares de agua a presión (REP). Más específicamente, la invención presente se refiere a los cristales, también llamados caras activas, del sello mecánico de estanqueidad principal del grupo de motobomba primaria.

### Antecedentes de la técnica precedente

10 En los reactores nucleares, la motobomba primaria genera la circulación de agua en el circuito primario de los reactores de agua a presión. Un sistema de estanqueidad dinámica del eje asegura la estanqueidad entre el circuito primario y la atmósfera. Este sistema de estanqueidad del eje es un sistema de fuga controlado. Comprende tres juntas dispuestas en serie. Cada junta tiene dos cristales que aseguran la estanqueidad principal. Uno de los cristales, llamado cristal giratorio, está montado en un conjunto que gira solidariamente con el eje, el otro cristal, llamado flotante, está montado en un conjunto y no gira, pero se puede desplazar axialmente para seguir los posibles desplazamientos axiales del eje.

15 La junta nº 1 proporciona la mayor parte de la caída de presión entre el circuito primario y la atmósfera. Es del tipo hidrostático, con una película de agua de un espesor del orden de los 10  $\mu\text{m}$ . La geometría particular de las caras de los cristales que aseguran la estanqueidad principal permite, en la parada y en el giro, el ajuste automático de su separación que depende únicamente del  $\Delta P$  de la junta. Los cristales estaban hechos inicialmente de alúmina, pero cada vez con mayor frecuencia están hechos de nitruro de silicio, más resistente a la fricción

20 La junta nº 1 funciona con un caudal de fuga controlada del orden de 600 l/h en funcionamiento, gracias al perfil específico realizado sobre sus caras activas. Permite pasar de una presión de 155 bares (1 bar =  $10^5$  Pa) a una presión de alrededor de 2 bares.

25 Sin embargo, en las juntas nº 1 de la técnica anterior, se ha encontrado que un gran depósito de óxido de hierro contamina las caras activas y modifica la pendiente de estas caras, lo que conduce a una modificación del caudal de fuga.

El documento "Deposition of hematite particles on alumina seal faceplates of nuclear reactor coolant pumps-laboratory experiments and industrial feedback" de Gregory Lefevre, Ljiljana S. Zivkovic y Anne Jaubertie, Hem. ind., 2012, explica que este fenómeno de ensuciamiento es debido a un fenómeno de dos etapas:

30 las partículas son transportadas desde la solución al cristal por fenómenos hidrodinámico, electroforético y termoforético;

después, se adhieren a las caras de estanqueidad mediante interacciones fisicoquímicas. En la técnica anterior, estas interacciones son consideradas como debidas esencialmente al hecho de que las partículas de hematita están cargadas positivamente, mientras que las superficies de los cristales están cargadas negativamente.

35 Para remediar este problema, la patente de los EE.UU. US 7.287.756 propone añadir un catalizador a la superficie de los cristales. Este catalizador es de preferencia uno o mezcla de los siguientes compuestos: renio, rutenio, rodio, paladio, plata, osmio, iridio, platino, oro. Según la patente de los EE.UU. US 7.287.756, el hierro está presente en solución en forma de  $\text{FeOOH}$  (goetita) e iones  $\text{Fe}^{2+}$ . La goetita se deposita en la superficie de los sellos. En paralelo, los iones  $\text{Fe}^{2+}$  son oxidados por el dióxígeno en iones  $\text{Fe}^{3+}$  que se precipitan y consolidan el depósito. El depósito evoluciona seguidamente a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). El uso de catalizadores que disocian el dihidrógeno presente, con la consecuencia de reducir el potencial químico, evitan la oxidación de los iones  $\text{Fe}^{2+}$  y reducen los iones  $\text{Fe}^{3+}$  presentes en  $\text{Fe}^{2+}$ , evitando de esta manera que se produzca el depósito de óxido.

40 El documento WO 2013/035503 describe un componente anular de una junta de un eje. La superficie de este componente comprende estructuras huecas cuya profundidad, anchura y distancia está entre 100 nanómetros y 10 micrómetros.

45 La solicitante ha identificado otro mecanismo de formación del depósito de óxido en las superficies de cristal. Por tanto, proponemos una solución que tiene en cuenta este mecanismo de formación.

### Compendio de la invención

50 La invención consiste en un sello de estanqueidad hidrostático según el objeto de la reivindicación 1 y un método de protección según el objeto de la reivindicación 6. Su objetivo es superar los inconvenientes del estado del arte de la técnica presentando una solución efectiva para impedir el ensuciamiento de los cristales de la junta nº 1 del sistema de estanqueidad del eje de la unidad de la motobomba primaria de un reactor nuclear.

Para conseguir esto, la invención propone estructurar la superficie de los cristales para crear asperezas en la superficie de los cristales más pequeñas que las partículas que son susceptibles de adherirse a la superficie de los cristales para formar incrustaciones. La estructuración tiene como objetivo limitar los puntos de adherencia a fin de impedir que estas partículas se fijen en la superficie del cristal.

- 5 Más específicamente, la invención propone un cristal para un sello de estanqueidad para sistemas de estanqueidad de ejes de grupos de motobombas primarias de reactores nucleares, destinado a asegurar la estanqueidad entre el circuito primario y la atmósfera, el cristal presenta al menos una superficie estructurada mediante una red de asperezas, cada aspereza presenta dimensiones laterales comprendidas entre 10 nm y 5  $\mu\text{m}$ , cada aspereza presenta una altura entre 10 nm y 5  $\mu\text{m}$ , la distancia entre dos asperezas consecutivas está comprendida entre 10 nm y 5  $\mu\text{m}$ .

10 El hecho de estructurar la superficie del cristal para tener asperezas que presentan tales dimensiones permite obtener irregularidades más pequeñas en la superficie del cristal que las partículas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , y por tanto disminuir los puntos de adhesión de estas partículas. De hecho, al contrario del fenómeno de adhesión descrito en los documentos de la técnica anterior, nuestras experiencias han demostrado que las partículas de hematita no se adhieren directamente a la superficie del cristal, sino que se adhieren a los iones  $\text{Fe}^{2+}$  que son a su vez adsorbidos en la superficie de los cristales. De hecho, los iones  $\text{Fe}^{2+}$  son atraídos por la superficie negativa y donadora de electrones de los cristales. El  $\text{Fe}^{2+}$  es un ácido de Lewis, reacciona con los grupos oxigenados presentes en la superficie de los cristales y, a su vez, puede reaccionar con el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  coloidal o particulado que posee una fuerte componente donadora de electrones. Los iones  $\text{Fe}^{2+}$  pueden en tal caso ser adsorbidos por la superficie de las partículas de hematita y la reacción continua en cadena, lo que provoca que los cristales se obstruyan. Por tanto, para impedir este ensuciamiento, la solicitante propone impedir la unión de partículas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  al  $\text{Fe}^{2+}$  de la superficie de los cristales.

El cristal según la invención puede también tener una o más de las siguientes características expuestas a continuación tomadas independientemente o en cualquier combinación técnicamente posible.

- 25 Las asperezas pueden ser orificios o pilares.

Quando las asperezas son orificios, la altura del orificio se llama profundidad.

Quando las asperezas son pilares, el factor de forma del pilar, que se corresponde con la relación de su altura a su dimensión lateral debe ser de preferencia inferior a 2 para evitar fenómenos de erosión.

El cristal según la invención puede ser un cristal giratorio o un cristal flotante del sello de estanqueidad.

- 30 Ventajosamente, toda la superficie del cristal que está destinada a estar en contacto con la película de agua está estructurada.

Las asperezas pueden ser asperezas nanométricas. En este caso, las asperezas presentan de preferencia dimensiones laterales entre 10 nm y 1  $\mu\text{m}$ , y una altura comprendida entre 10 nm y 1  $\mu\text{m}$ . La distancia entre dos asperezas consecutivas está de preferencia comprendida entre 10 nm y 1  $\mu\text{m}$ .

- 35 De hecho, las partículas susceptibles de adherirse al  $\text{Fe}^{2+}$  de la superficie de cristal presentan en general dimensiones comprendidas entre 50 nm y 5  $\mu\text{m}$ , y es preferible que tengan asperezas que presentan dimensiones comprendidas entre el 10 y el 50%, y de preferencia del orden del 20 al 30%, del tamaño de las partículas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a fin de impedir al máximo la adhesión de las partículas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a la superficie del cristal.

- 40 De igual manera, las asperezas pueden ser también asperezas micrónicas. En este caso, las asperezas presentan de preferencia dimensiones laterales comprendidas entre 1  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ , y una altura comprendida entre 1  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ . La distancia entre dos asperezas consecutivas está de preferencia comprendida entre 1  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ .

La red de asperezas es de preferencia regular, es decir, comprende una pauta que puede reproducirse regularmente, lo que facilita el control de la red de asperezas.

- 45 Según un modo de realización, las asperezas tienen de preferencia las mismas dimensiones y la distancia entre dos asperezas consecutivas es de preferencia siempre la misma, lo que facilita la fabricación de la red de asperezas.

Según un modo de realización preferida, la superficie del cristal está micro y nanoestructurada jerárquicamente por una red de asperezas micrónicas de una dimensión lateral y de una altura comprendida entre 500 nm y 5  $\mu\text{m}$ , y de preferencia comprendida entre 1  $\mu\text{m}$  y 2  $\mu\text{m}$ , la distancia entre las dos asperezas micrónicas está comprendida entre 500 nm y 5  $\mu\text{m}$ , y de preferencia está comprendida entre 1  $\mu\text{m}$  y 2  $\mu\text{m}$ . Estas asperezas micrónicas están estructuradas por asperezas nanométricas de dimensiones laterales y altura comprendidas entre 10 nm y 200 nm, y de preferencia comprendidas entre 50 nm y 100 nm. La distancia entre dos asperezas nanométricas adyacentes está comprendida entre 10 nm y 200 nm. Esta doble estructuración a escala nanométrica y micrométrica permite reducir aún más la adherencia de las partículas que pueden formar el depósito.

Las asperezas nanométricas pueden ser orificios o pilares.

Las asperezas micrónicas pueden ser orificios o pilares.

Los cristales de la junta están hechos de preferencia de nitruro de silicio.

5 Otro aspecto de la invención se refiere igualmente a un método de protección contra el ensuciamiento de los cristales de los sellos de estanqueidad para el sistema de estanqueidad del eje de las motobombas primarias de los reactores nucleares, que comprende una etapa de estructuración de la superficie del cristal para producir una red de asperezas en la superficie del cristal. Cada aspereza presenta dimensiones laterales comprendidas entre 10 nm y 5  $\mu$ m, y una altura comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m. La distancia entre dos asperezas consecutivas está comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m.

10 Las asperezas pueden ser orificios o pilares.

Cuando las asperezas son pilares, presentan de preferencia un factor de forma menor de 2 para evitar fenómenos de erosión.

Según diferentes modos de realización, esta etapa de nanoestructuración o microestructuración puede ser realizada según:

15 un enfoque descendente (top-down) por micro o nanolitografía, litografía por haz de electrones, litografía por rayos X, litografía por rayos UV profundos, litografía por nanoimpresión, litografía por interferencia, por haz de iones focalizados, modelado por láser o microscopía con sonda de barrido. Estos pasos pueden comprender una etapa de grabado seco o húmedo.

20 un enfoque ascendente (bottom-up) (litografía por nanoesfera o coloidal) durante la que se puede usar una máscara de micro o nanoobjetos (bolas, nanopartículas, copolímeros de bloques autoensamblados) para replicar las asperezas en el sustrato mediante grabado húmedo, seco o por láser.

el método también puede comprender igualmente uno o más de los siguientes pasos:

una etapa de reducción de los tamaños de los micro o nanoobjetos

25 una etapa de deposición de una capa que sirve como una máscara sobre los micro o nanoobjetos y sobre el sustrato no cubierto entre los micro o nanoobjetos

una etapa de eliminación de micro o nanoobjetos, que deja la máscara sobre el sustrato y forma una red de orificios en la máscara formada por la impresión de micro o nanoobjetos

una etapa de grabado a través de la huella de los nanoobjetos y la eliminación de la máscara.

30 El método puede incluir igualmente una etapa de deposición de una capa protectora contra el ensuciamiento sobre la superficie del cristal. Esta capa protectora está realizada de preferencia con SiC, TiN, CrN, Ni o diamante micro o nanocristalino. En este caso, es preferible que la superficie de la capa protectora esté micro o nanoestructurada.

### Descripción breve de las Figuras

Otras características y ventajas de la invención resultarán evidentes de la lectura de la descripción detallada que sigue, haciendo referencia a las Figuras adjuntas, que ilustran:

35 La Figura 1, es una vista en sección transversal de un sistema de estanqueidad del eje;

La Figura 2, es una vista esquemática de una junta nº 1;

La Figura 3, es una representación esquemática del fenómeno de ensuciamiento de un cristal de la junta;

La Figura 4 es una representación esquemática de la fijación de las partículas sobre la superficie de un cristal de la junta según un modo de realización de la invención y sobre una superficie de cristal plana;

40 La Figura 5, es una representación esquemática de dos métodos según un modo de realización de la invención;

La Figura 6, es una representación esquemática de la superficie de un cristal según un modo de realización de la invención;

La Figura 7, es una representación esquemática de la superficie de un cristal según otro modo de realización de la invención;

45 La Figura 8, es una representación esquemática de un cristal según otro modo de realización de la invención.

Para mayor claridad, los elementos idénticos o similares se identifican por signos de referencia idénticos en todas las Figuras.

### Descripción detallada de al menos un modo de realización

5 La Figura 1 representa un sistema de sellos mecánicos de estanqueidad del eje 4 del grupo de la motobomba primaria de un reactor nuclear. Este sistema de estanqueidad del eje comprende una junta nº 1 a la que se hace referencia con 1 en la Figura, una junta nº 2 a la que se hace referencia con 2 en la Figura, una junta nº 3 a la que se hace referencia con 3 en la Figura. Cada junta 1, 2, 3 se compone de un cristal giratorio solidario con el eje 7 y un cristal flotante que puede seguir los desplazamientos axiales del eje 7 pero sin girar.

10 La junta nº 1 está representada más precisamente en la Figura 2. La junta nº 1 asegura la mayor parte de la caída de presión entre el circuito primario 8 y la atmósfera 9. La junta nº 1 es del tipo hidrostático, una película de agua con un espesor del orden de 10 µm. La junta nº 1 comprende un cristal giratorio 10 solidario al eje 7 y un cristal flotante 11 que puede seguir los desplazamientos axiales del eje 7. El caudal de fuga de la junta nº 1 está determinado por la doble pendiente del cristal flotante 11 o por las pendientes de los cristales giratorio 10 y flotante 11. Los cristales están hechos de nitruro de silicio Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

15 El proceso de ensuciamiento de los cristales 10, 11 en ausencia de las características de la invención se explica en la Figura 3. El agua circula entre los cristales 10, 11. Esta agua aporta iones Fe<sup>2+</sup> que son adsorbidos de preferencia en la superficie de los cristales Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. El Fe<sup>2+</sup> es un ácido de Lewis, reacciona con los grupos de oxígeno presentes sobre la superficie de los cristales y, a su vez, puede reaccionar con un Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coloidal o particulado que tiene un fuerte componente de donador de electrones. Los iones Fe<sup>2+</sup> pueden por tanto ser adsorbidos en la superficie de las partículas de hematita y la reacción continua en cadena, lo que causa la obstrucción de los cristales.

20 Para evitar este proceso de ensuciamiento, con referencia a la Figura 4, la superficie 12 de cada uno de los cristales 10, 11 está estructurada para tener asperezas 14 en la superficie de los cristales que presentan un tamaño comprendido entre el 10% y el 50% del tamaño de las partículas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Por tanto, la superficie de los cristales está estructurada por una red de asperezas 14, que pueden ser orificios o pilares.

25 Cuando las asperezas 14 son orificios, cada orificio posee dos dimensiones laterales comprendidas entre 10 nm y 5 µm, y una altura de 10 nm a 5 µm. La distancia entre dos orificios consecutivos está comprendida entre 10 nm y 5 µm.

30 Cuando las asperezas son pilares, cada pilar tiene dimensiones laterales comprendidas entre 10 nm y 5 µm y una altura comprendida entre 10 nm y 5 µm. El factor de forma, es decir, la relación de la altura a la dimensión lateral es de preferencia menor que 2 para evitar fenómenos de erosión. La distancia entre dos pilares consecutivos está comprendida entre 10 nm y 5 µm.

Por tanto, incluso si los iones Fe<sup>2+</sup> son adsorbidos por la superficie de los cristales, la adhesión de las partículas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a la superficie del cristal están entonces limitada por la rugosidad de la superficie de los cristales en comparación con una superficie plana, evitando así la obstrucción de los cristales.

35 La estructuración de la superficie de los cristales puede ser realizada por diferentes métodos.

Según un modo de realización, la estructuración es una nanoestructuración que puede ser realizada usando un enfoque ascendente (bottom-up), por ejemplo usando un método de litografía de nanoesfera.

40 Por tanto, la Figura 5 representa un método de litografía de nanoesfera (NSL) que permite obtener una red de orificios o de pilares sobre la superficie de los cristales. La litografía de nanoesferas está basada en el autoensamblaje de micro o nanoesferas monodispersas (por ejemplo, poliestireno) en la superficie de un sustrato para formar una máscara bidimensional. El método comprende en primer lugar una etapa 101 de depósito de microesferas o de nanoesferas en la superficie del cristal. Los métodos para depositar la suspensión de esferas son variados: se puede mencionar el recubrimiento mediante rotación (tournette), el método Langmuir-Blodgett o el recubrimiento por inmersión (trempage-retrait). El método comprende además una etapa 102 de reducción del tamaño de las esferas por grabado mediante iones reactivos.

45 Cuando las asperezas a ser realizadas son pilares, el procedimiento comprende entonces una etapa 103 de grabación de la superficie de los cristales a través de la máscara formada por las esferas para realizar una red de pilares en la superficie de cada cristal. El método comprende entonces una etapa 104 de eliminación de las bolas.

50 Cuando las asperezas a realizar son orificios, el método comprende una etapa 103a de deposición de una capa de cromo, por ejemplo, sobre la red de bolas de tamaño reducido. El método comprende entonces una etapa 103b de supresión de las bolas. El método comprende entonces una etapa de grabado a través de la cavidad de las bolas (no mostrada). Finalmente, el método comprende una etapa 104 de supresión de la máscara de cromo para formar una red de orificios.

La Figura 6 representa esquemáticamente una red de asperezas 14 en la superficie de uno de los cristales según un modo de realización de la invención. En este modo de realización, las asperezas son orificios 13. Los orificios 13 presentan dimensiones laterales D1 comprendidas entre 10 nm y 5  $\mu$ m. Los orificios 13 presentan una altura H1 comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m. Dos orificios adyacentes 13 están separados una distancia D2 comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m.

La Figura 7 muestra esquemáticamente una red de asperezas en la superficie de uno de los cristales, según otro modo de realización de la invención. En este modo de realización, las asperezas 14 son pilares 15. Los pilares 15 presentan una dimensión lateral D4 comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m. Los pilares 15 presentan una altura H2 comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m. Dos pilares 15 adyacentes están separados por una distancia D3 comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m. La altura H2 de estos pilares está de preferencia limitada a relaciones H2/D4 inferiores a 2 para limitar los fenómenos de erosión.

La Figura 8 muestra esquemáticamente la superficie de un cristal según otro modo de realización de la invención. En este modo de realización, la superficie de cada cristal presenta una doble estructuración: así, la superficie de cada cristal está microestructurada por una red de asperezas micrónicas. En este modo de realización, las asperezas micrónicas son pilares 17. Los pilares 17 presentan dimensiones laterales D6 comprendidas entre 500 nm y 5  $\mu$ m. Los pilares 17 presentan una altura H3 comprendida entre 500 nm y 5  $\mu$ m. Los pilares 17 están separados por espacios 16 que presentan dimensiones transversales D5 comprendidas entre 500 nm y 5  $\mu$ m. Además, los pilares 17 presentan de preferencia una relación de altura H3 respecto a las dimensiones transversales D6 inferior a 2 y más preferentemente inferior a 1 para limitar los problemas de erosión. La superficie de los cristales puede, por ejemplo, ser microestructurada mediante un proceso de litografía.

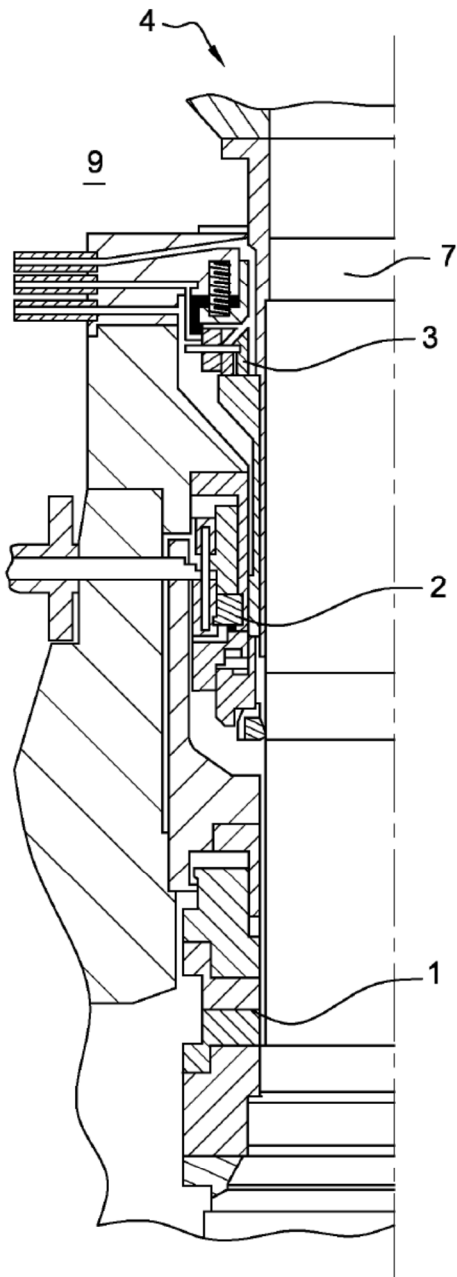
La superficie de los cristales está además nanoestructurada por una red de asperezas nanométricas 22. En este modo de realización, las asperezas nanométricas 22 son pilares similares a los descritos con referencia a la Figura 7. La superficie nanoestructurada está presente en el fondo 21 de los espacios entre los pilares 17, en la superficie superior 20 de los pilares 17 y de preferencia igualmente sobre los flancos 19 de los pilares 17. Tal nanoestructuración de las superficies superiores 20, del fondo 21 y de los flancos 19 de los pilares puede ser realizada cubriendo la superficie del cristal microestructurado con nanopartículas formadas por pulverización. La superficie del cristal debe estar inclinada y girando para depositar partículas sobre los flancos 19 de los pilares 17. La superficie del cristal se graba a continuación con iones reactivos a alta presión para lograr una grabación isotrópica. Las nanopartículas dispuestas sobre los pilares son eliminadas a continuación.

Naturalmente, la invención no está limitada a los modos de realización descritos en referencia a las Figuras y se pueden considerar variantes sin apartarse del alcance de la invención. El método utilizado para realizar la red de orificios o de pilares micro o nanoestructurados puede ser otro método diferente al descrito con referencia a la Figura 5 como, por ejemplo, un enfoque descendente como la litografía por haz de electrones, la litografía de rayos X, la litografía con haz de iones focalizados, la litografía por nanoimpresión, la litografía por interferencia. Se puede realizar igualmente la red de orificios o de pilares micrométricos o nanométricos según un enfoque ascendente, por ejemplo, utilizando una máscara de micro o nanoobjetos, organizados o no para realizar un proceso de litografía nanoesférica o un proceso de litografía coloidal, o un método de litografía utilizando un ensamblaje de bloques de copolímeros, para transferir las pautas en la superficie del cristal, por ejemplo mediante grabado en seco, húmedo o por láser. En particular, es posible enfocar el láser a través de bolas de SiO<sub>2</sub>, lo que crea un orificio en la superficie del cristal en el lugar de la bola. Además, el método para producir la red de orificios o de pilares también puede comprender igualmente etapas suplementarias tales como depositar otra capa por encima de las bolas, eliminar bolas y grabar a través de su impresión.

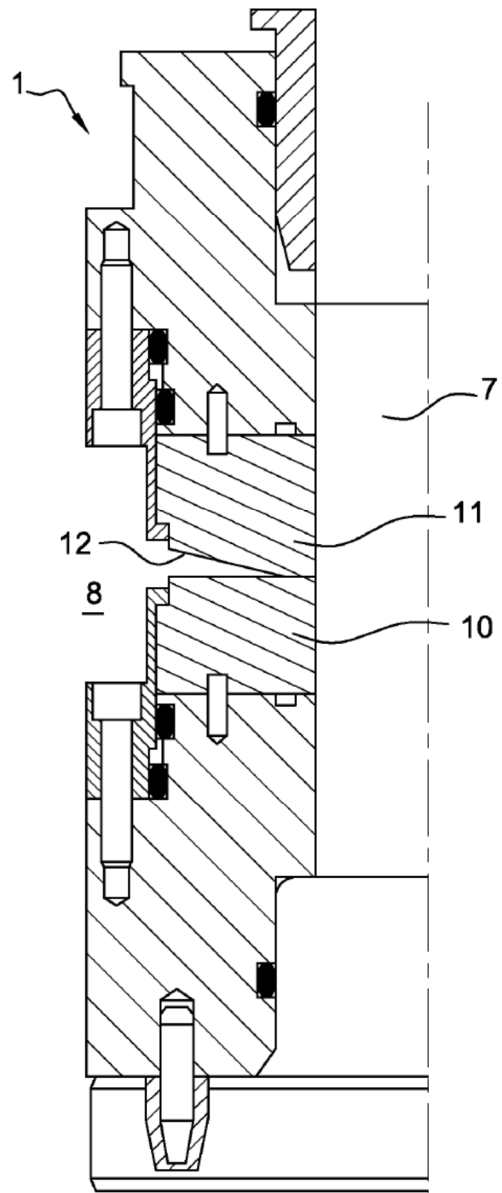
Además, la superficie del cristal también puede estar cubierta igualmente por una capa protectora que permita evitar que los iones Fe<sup>2+</sup> sean adsorbidos sobre la superficie de los cristales. En este caso, la superficie de los cristales es cubierta de preferencia con la capa protectora antes de la etapa de microestructuración o de nanoestructuración. La capa protectora está hecha de preferencia de carburo de silicio (SiC), nitruro de titanio (TiN), nitruro de cromo (CrN), níquel (Ni) o diamante micro o nanocristalino.

**REIVINDICACIONES**

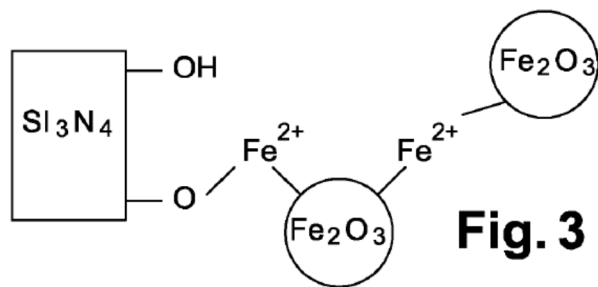
- 5 1. Sello de estanqueidad hidrostático para el sistema de estanqueidad del eje de grupos de motobombas primarias de reactores nucleares, destinado a asegurar la estanqueidad entre el circuito primario (8) y la atmósfera (9), comprendiendo el sello de estanqueidad un cristal (10, 11) que presenta al menos una superficie (12) estructurada por una red de asperezas (14), presentando cada aspereza (14) dimensiones laterales (D1, D4, D6) comprendidas entre 10 nm y 5  $\mu$ m, presentando cada aspereza (14) una altura (H1, H2, H3) comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m, estando comprendida la distancia (D2, D3, D5) entre dos asperezas (14) consecutivas entre 10 nm y 5  $\mu$ m, siendo las asperezas orificios (13) o pilares (15).
- 10 2. Sello según la reivindicación precedente, en el que los pilares (15) presentan una relación de la altura con una dimensión lateral inferior a 2, y de preferencia 1.
3. Sello según una de las reivindicaciones precedentes, en el que las asperezas son asperezas nanométricas que presentan dimensiones laterales comprendidas entre 10 nm y 1  $\mu$ m y una altura comprendida entre 10 nm y 1  $\mu$ m, estando la distancia entre dos asperezas consecutivas comprendida entre 10 nm y 1  $\mu$ m.
- 15 4. Sello según una de las reivindicaciones precedentes, en el que las asperezas son asperezas micrónicas que presentan dimensiones laterales comprendidas entre 1  $\mu$ m y 5  $\mu$ m y una altura comprendida entre 1  $\mu$ m y 5  $\mu$ m, estando la distancia entre dos asperezas consecutivas comprendida entre 1  $\mu$ m y 5  $\mu$ m.
- 20 5. Sello según una de las reivindicaciones precedentes, en el que la superficie del cristal está micro y nanoestructurada mediante una red de asperezas micrónicas (17) de una dimensión lateral y una altura comprendidas entre 500 nm y 5  $\mu$ m, estando comprendida la distancia entre dos asperezas micrónicas (17) entre 500 nm y 5  $\mu$ m, estando estructuradas las asperezas micrónicas (17) por asperezas nanométricas (22) de dimensiones laterales y altura comprendidas entre 10 nm y 200 nm, la distancia entre dos asperezas nanométricas (22) adyacentes está comprendida entre 10 nm y 200 nm.
- 25 6. Método de protección contra el ensuciamiento de un sello de estanqueidad hidrostático para el sistema de estanqueidad del eje de motobombas primarias de reactores nucleares, comprendiendo dicho sello de estanqueidad un cristal, comprendiendo dicho método una etapa de estructuración de la superficie (12) del cristal para producir una red de asperezas en la superficie del cristal, presentando cada aspereza dimensiones laterales comprendidas entre 10 nm y 5  $\mu$ m, y una altura comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m, estando comprendida entre 10 nm y 5  $\mu$ m la distancia entre dos asperezas consecutivas, siendo las asperezas orificios o pilares.
- 30 7. Método según la reivindicación precedente, comprendiendo además una etapa de deposición de una capa protectora contra el ensuciamiento sobre la superficie del cristal, estando esta capa protectora hecha de uno de los siguientes materiales: SiC, TiN, CrN, Ni, diamante micro o nanocristalino.



**Fig. 1**

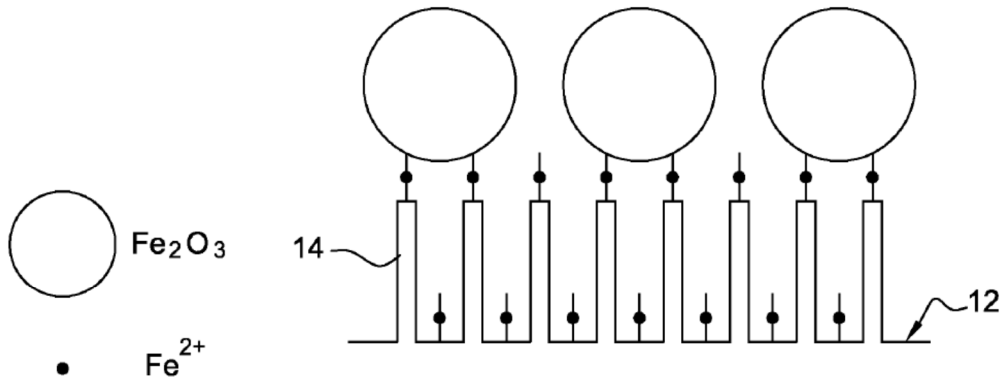


**Fig. 2**

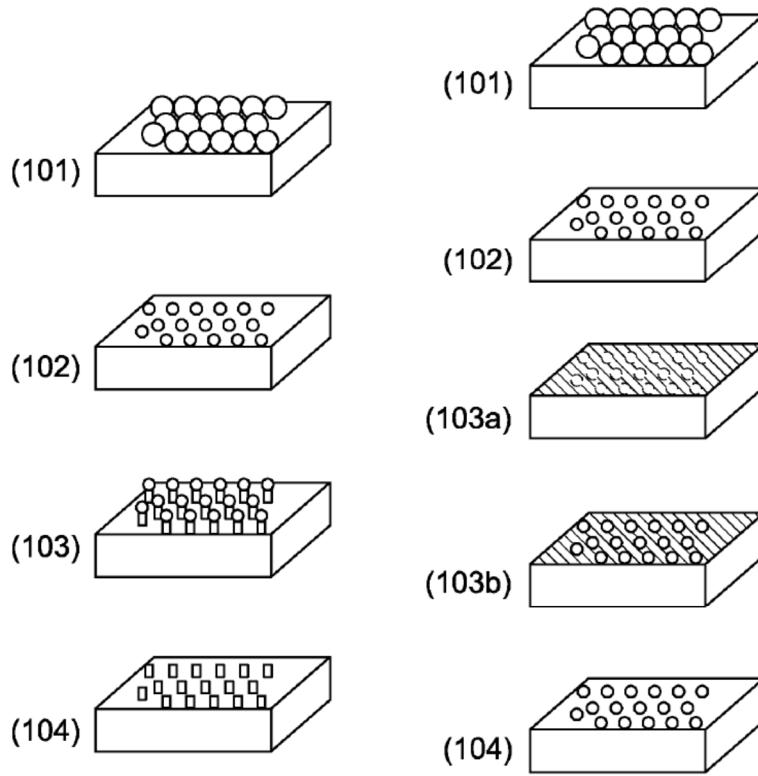
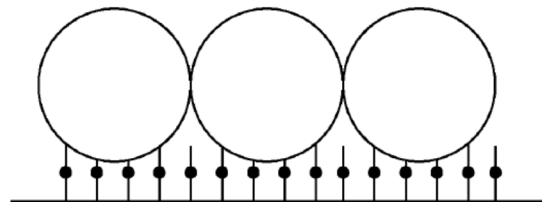


**Fig. 3**

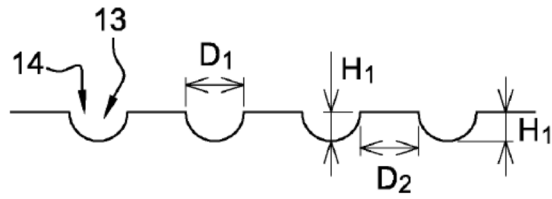




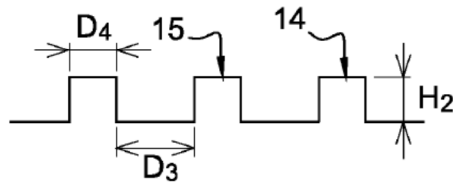
**Fig. 4**



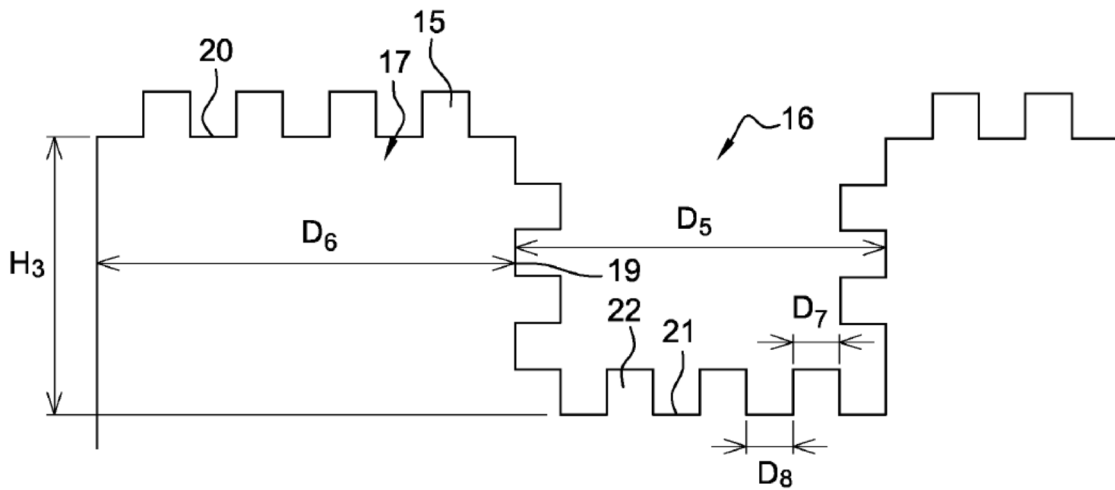
**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**