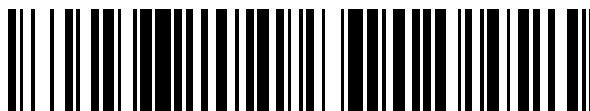


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 628 691**

51 Int. Cl.:

**G01N 21/71** (2006.01)

**G01N 1/22** (2006.01)

**G01N 1/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.02.2014 PCT/EP2014/053507**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.09.2014 WO14131717**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2014 E 14707709 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2017 EP 2962087**

54 Título: **Sistema y procedimiento para el análisis, por espectrometría de plasma inducido por láser, de la composición de una capa superficial y para la extracción de muestras con vistas a análisis complementarios**

30 Prioridad:  
**27.02.2013 FR 1351741**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.08.2017**

73 Titular/es:  
**AREVA NC (100.0%)  
Tour Areva 1 place Jean Millier  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**PICCO, BERNARD y  
VARET, THIERRY**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 628 691 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

Sistema y procedimiento para el análisis, por espectrometría de plasma inducido por láser, de la composición de una capa superficial y para la extracción de muestras con vistas a análisis complementarios

5

### Campo técnico

La presente invención se refiere a un sistema que permite analizar la composición de la capa superficial de un material por LIBS, es decir, por espectrometría de plasma inducido por láser (en inglés, *laser-induced breakdown spectroscopy*) y proceder a una extracción de las partículas representativas de esta capa superficial con la finalidad de análisis complementarios cualitativos o cuantitativos o de controles de esta capa superficial.

10

Más particularmente, la invención se refiere a un sistema que permite analizar la contaminación de superficie de un material por LIBS y controlar esta contaminación.

15

Se aplica, en concreto, al análisis y al control de la contaminación química de superficie de un material, pero, más particularmente, al análisis y al control de la contaminación radiológica de superficie de un material, con la finalidad de efectuar unas investigaciones radiológicas en unos talleres, unos edificios y más generalmente unas instalaciones nucleares, en particular, para realizar una cartografía de su estado radiológico antes de saneamiento y/o desmantelamiento o después de saneamiento.

20

### Estado de la técnica anterior

Se hará referencia a los siguientes documentos:

25

[1] WO 95/17656, Method for determining the surface contamination of a solid, and device therefor, invención de P. Laffont et al.

30

[2] US 5.583.634, Process for elementary analysis by optical emission spectroscopy on plasma produced by laser in the presence of argon, invención de N. André et al.

[3] US 7.106.439, Elementary analysis device by optical emission spectrometry on laser produced plasma, invención de J.L. Lacour et al.

35

[4] WO 2011/060404, Techniques for removing a contaminant layer from a thermal barrier coating and estimating remaining life of the coating, invención de W.T. Hassan et al.

[5] WO 2012/005775, Laser-induced breakdown spectroscopy instrumentation for real-time elemental analysis, invención de J.E. Barefield.

40

El documento [1] hace referencia al control de la contaminación de superficie de un sólido. Los documentos [2] y [3] se refieren al análisis de materiales por la técnica LIBS. El documento [4] hace referencia a la descontaminación de un revestimiento contaminado por unos contaminantes químicos y al análisis de estos contaminantes y utiliza la técnica LIBS para ello. El documento [5] se refiere a un dispositivo portátil, que permite la implementación de la técnica LIBS.

45

El documento GB 2359886 A, "Laser spectroscopic remote detection of surface contamination", hace referencia a la detección por la técnica LIBS, de una contaminación radioactiva sobre un recipiente. Ninguna de las técnicas divulgadas por estos documentos permite a la vez analizar la contaminación de superficie de un material y efectuar de ello una extracción con vistas a controlar esta contaminación o a realizar de ello un análisis complementario cualitativo o cuantitativo.

50

### Exposición de la invención

La presente invención tiene como finalidad conseguir este doble objetivo.

55

Propone un sistema que permite a la vez el análisis de la composición de la capa superficial de un material y la extracción de las partículas representativas de esta capa superficial por medio de un único láser pulsado, así como un procedimiento de análisis y de extracción que implementa este sistema.

60

Por lo tanto, se trata de combinar dos técnicas:

- la técnica LIBS, que permite analizar la naturaleza química y la concentración relativa (en %) de los elementos que están presentes en la superficie del material, y

65

- una técnica de extracción que utiliza el mismo láser pulsado que la técnica LIBS y que permite la aspiración y la

recogida de las partículas ablacionadas, con vistas a la cuantificación precisa de los elementos constitutivos de la muestra extraída o con vistas a un análisis cualitativo complementario.

5 Se recuerda brevemente en qué consiste la técnica LIBS: un pulso láser en la superficie del material genera un plasma que se expande y se enfría emitiendo una radiación luminosa; esta última se recoge y transmite a un espectrómetro; las rayas del espectro obtenido de este modo se recuperan y analizan.

10 Para lo que se refiere a la técnica de extracción, un pulso láser también se envía a la superficie del material (por medio del mismo láser pulsado). De ello resulta una ablación de partículas de la superficie del material. Las partículas ablacionadas se aspiran por unos medios de extracción, después se recaban sobre un filtro.

15 Cuando se trata de la aplicación particular en el campo del análisis y del control de contaminación radiológica de superficie de un material, la cuantificación de la contaminación (expresada en Bq/cm<sup>2</sup>) se realiza por un medio de recuento de la radioactividad recogida sobre el filtro, realizándose esta cuantificación en el lugar o en el laboratorio donde se habrá enviado el filtro.

20 De forma precisa, la presente invención tiene como objeto un sistema para el análisis de la composición de la capa superficial, en concreto, radioactiva, de un material, por espectrometría de plasma inducido por láser, que comprende:

- un único láser pulsado, para generar un haz láser pulsado, adecuado para interactuar con la capa superficial y producir un plasma en la superficie del material,

25 - un dispositivo de focalización del haz láser pulsado sobre la superficie del material,

- un dispositivo para recoger la luz emitida por el plasma, y

30 - un dispositivo para el análisis espectral de la luz recogida de este modo y la determinación de la composición elemental de la capa superficial a partir del análisis espectral,

35 caracterizado porque comprende, además, un dispositivo para aspirar y recoger unas partículas representativas de esta capa superficial, extraídas de ella por el efecto del haz láser pulsado focalizado, con vistas a al menos un análisis complementario cualitativo o cuantitativo o a al menos un control, en concreto, un control de contaminación radiológica, a partir de las partículas aspiradas y recogidas.

Según un modo de realización preferente del sistema, objeto de la invención, el láser pulsado y el dispositivo de focalización se eligen para obtener una densidad de potencia comprendida en el intervalo que va de 1 GW/cm<sup>2</sup> a 50 GW/cm<sup>2</sup>, en la superficie del material.

40 Preferentemente, el dispositivo de focalización se elige para obtener un haz láser pulsado focalizado cuyo tamaño (más precisamente, el diámetro de focalización para un haz láser sustancialmente circular) está comprendido en el intervalo que va de 1 μm a 10 μm, en la superficie del material.

45 El dispositivo para aspirar y recoger las partículas se elige preferentemente para obtener una velocidad de aspiración comprendida en el intervalo que va de 20 m/s a 200 m/s.

Según un modo de realización preferente de la invención, el dispositivo de focalización del haz láser pulsado comprende:

50 - una fibra óptica que tiene un primer extremo, conectado al láser pulsado y un segundo extremo, y

- una lente de focalización dispuesta en el segundo extremo de la fibra óptica.

55 El dispositivo para recoger la luz emitida por el plasma puede comprender una fibra óptica cuyo un extremo está preferentemente provisto de una lente de recogida de luz.

Preferentemente, el sistema es portátil y el dispositivo para aspirar y recoger las partículas comprende:

60 - un ciclón de aspiración para aspirar aire que contiene las partículas representativas de esta capa superficial,

- una bomba para aspirar el aire, y

- con conducto que une la bomba al ciclón.

65 Este dispositivo puede comprender entonces:

- un filtro, por ejemplo, de papel, sobre el cual se depositan las partículas contenidas en el aire aspirado, y
- un alojamiento, eventualmente amovible, que está previsto sobre el conducto para disponer en él el filtro y retirarlo de él con vistas al análisis complementario cualitativo o cuantitativo o al control a partir de las partículas depositadas sobre el filtro.

De manera opcional, el sistema puede comprender igualmente un dispositivo para el análisis complementario cuantitativo o para el análisis complementario cualitativo (y, por lo tanto, otro que no sea el que resulta del análisis espectral) o para el control, en concreto, el control de contaminación radiológica, a partir de las partículas depositadas sobre el filtro. En el caso del control de contaminación radiológica, este control directo permite una evaluación de dicha contaminación, entendiéndose que el control preciso, que necesita unos aparatajes más pesados, se realiza entonces en laboratorio de forma diferida.

Según otro modo de realización particular del sistema, objeto de la invención, el dispositivo para aspirar y recoger las partículas comprende:

- una cabeza de aspiración, para aspirar aire que contiene las partículas extraídas de la capa superficial del material,
- una bomba para aspirar el aire,
- con conducto que une la bomba a la cabeza de aspiración,
- un alojamiento que está previsto sobre el conducto,
- una rejilla dispuesta en el alojamiento, incluyendo este último dos aberturas por encima de la rejilla, respectivamente a la altura de los dos extremos de esta,

- un filtro, por ejemplo, de papel, que es desplazable sobre la rejilla y adecuado para atravesar las dos aberturas del alojamiento y sobre el que se depositan unas partículas contenidas en el aire aspirado,

- un dispositivo para el análisis complementario cualitativo o cuantitativo o el control, en concreto, el control de la contaminación radiológica, a partir de las partículas depositadas sobre el filtro, y

- un dispositivo para desplazar el filtro sobre la rejilla y a la altura del dispositivo para el análisis complementario cualitativo o cuantitativo o el control, en concreto, el control de la contaminación radiológica.

La presente invención tiene, además, como objeto un procedimiento para el análisis por LIBS de la composición de la capa superficial de un material y para la extracción de muestras con vistas a al menos un análisis complementario cualitativo o cuantitativo o a al menos un control de esta capa superficial y, más particularmente, a al menos un control de la contaminación radiológica, que implementa el sistema, objeto de la invención.

Este procedimiento comprende una primera etapa de análisis por LIBS, una segunda etapa de extracción, realizándose estas etapas primera y segunda de manera simultánea o secuencial y una tercera etapa de análisis complementario cualitativo o cuantitativo o de control.

Según un primer modo de realización particular de este procedimiento, en una primera etapa, se procede al análisis LIBS del material, después si el resultado del análisis LIBS revela la presencia de al menos un elemento químico de interés, por ejemplo, un contaminante radioactivo, se procede en una segunda etapa, a una extracción de una muestra de la capa superficial del material liberado por el impacto del haz láser para realizar en él el análisis cualitativo o cuantitativo complementario o el control. El procedimiento, en este caso, se implementa de manera secuencial. Este primer modo de realización tiene como ventaja garantizar que la materia extraída contiene efectivamente los elementos buscados y, por lo tanto, limita la utilización y el derroche de filtros. Por lo tanto, permite generar menos residuos y, en el caso en que este análisis complementario o el control se efectúa en laboratorio, limitar el número de análisis infructuosos, de donde se desprende una ganancia de tiempo y un ahorro de los recursos del laboratorio.

Según un segundo modo de realización particular, denominado de otra manera modo paralelo, las dos etapas de análisis por LIBS y de extracción se realizan de manera simultánea. Esto puede permitir, en el caso de un control sistemático y automatizado, disponer simultáneamente de los resultados del análisis LIBS y del análisis del filtro de extracción, que entonces pueden ser complementarios.

### Breve descripción de los dibujos

La presente invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción de ejemplos de realización dados a continuación, a título puramente indicativo y de ninguna manera limitativo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 es una vista esquemática de un primer modo de realización particular del sistema, objeto de la invención, en el que este sistema es portátil, y

5 - la figura 2 es una vista esquemática de un segundo modo de realización particular del sistema, objeto de la invención, en el que este sistema es fijo.

#### **Exposición detallada de modos de realización particulares**

10 La figura 1 ilustra esquemáticamente un primer ejemplo de la invención, en la aplicación al control de contaminación radiológica de superficie de un material.

Se trata, por lo tanto, de un sistema que permite no solo el análisis, sino también el control de la contaminación de superficie 2 de un material 4. El análisis utiliza la técnica LIBS. En el ejemplo descrito, el sistema es portátil. Y la contaminación de superficie del material es de naturaleza radiológica.

15 El sistema de análisis y de control de contaminación radiológica, representado en la figura 1, comprende:

- un único láser pulsado 6, por ejemplo, un láser YAG pulsado, para generar un haz láser pulsado, adecuado para interactuar con la contaminación de superficie 2 y producir un plasma 8 en la superficie del material 4, y

- un dispositivo de focalización del haz láser pulsado sobre la superficie del material 4.

25 Este dispositivo comprende un filtro óptico 10 cuyo un extremo está ópticamente acoplado al láser 6. El otro extremo de la fibra 10 está provisto de una lente de focalización 12 para focalizar el haz láser pulsado sobre la superficie del material 4.

30 Como se ve esto, el sistema de la figura 1 comprende una carcasa 14 provista de una empuñadura de presión 16. Y el extremo de la fibra 10, terminado por la lente 12 es sustancialmente rectilíneo y está alojado en la carcasa 14. La empuñadura de presión 16 permite orientar el sistema hacia el material estudiado, para focalizar el haz en la superficie de este.

35 El sistema de la figura 1 también comprende un dispositivo para recoger la luz emitida por el plasma 8. Este dispositivo comprende, en el ejemplo descrito, una fibra óptica 18 cuyo un extremo está preferentemente provisto de una lente de recogida de luz 20. Como se ve esto, la lente 20 está a la altura de la lente 12, pero debajo de esta.

40 El sistema también comprende un dispositivo 22 para el análisis espectral de la luz recogida de este modo y la determinación de la composición elemental de la contaminación de superficie a partir del análisis espectral efectuado de este modo. Este dispositivo 22 comprende:

- un espectrómetro 24, al cual está acoplado el otro extremo de la fibra 18, y

- un dispositivo 26 de tratamiento del espectro proporcionado por el espectrómetro 24, para determinar la composición elemental de la contaminación.

45 Este dispositivo 26 está provisto de un dispositivo 28 para visualizar los resultados obtenidos.

50 De conformidad con la invención, el sistema de la figura 1 comprende, además, un dispositivo para aspirar y recoger unas partículas de la contaminación de superficie 2, extraídas de esta por el efecto del haz láser pulsado focalizado, con vistas a controlar también la contaminación de superficie a partir de las partículas aspiradas y recogidas.

Este dispositivo comprende:

55 - un ciclón de aspiración 30 para aspirar aire que contiene las partículas de la contaminación de superficie 2,

- una bomba 32 para aspirar el aire, y

- con conducto 34 que une la bomba 32 al ciclón 30.

60 El aire aspirado está simbolizado por las flechas F en la figura 1.

El dispositivo para aspirar y recoger las partículas comprende, además:

65 - un filtro 36, por ejemplo, de papel, sobre el cual se depositan unas partículas contenidas en el aire aspirado, y

- un alojamiento 38 que está previsto sobre el conducto 34 para disponer en él el filtro 36 y retirarlo de él con vistas a

controlar la contaminación de superficie 2 a partir de las partículas depositadas sobre el filtro 36.

Este control puede efectuarse en laboratorio, en cuyo caso entonces hace falta transportar el filtro 36. Para efectuar el control, se utiliza, por ejemplo, un contador proporcional, asociado a unos medios electrónicos de recuento.

5 Como se ve esto en la figura 1, el extremo sustancialmente rectilíneo de la fibra óptica 10 está en el interior del ciclón de aspiración 30 y está alojado en un tubo 40 que protege esta fibra para evitar que la perturben los movimientos del aire en el ciclón.

10 Es más, en el ejemplo descrito, el alojamiento 38 está montado de forma inamovible sobre el conducto 34. Pero, como variante, se puede prever un alojamiento 38 amovible. Esto permite transportar el filtro en el alojamiento hacia el laboratorio para realizar unos análisis complementarios cualitativo o cuantitativos sobre la muestra de partículas recogidas sobre el filtro. A título de ejemplo de unos análisis complementarios de este tipo realizados de manera desplazada, se puede citar el establecimiento del espectro isotópico. Por otra parte, el laboratorio puede estar, por  
15 ejemplo, en un vehículo que se puede llevar cerca del material analizado y controlado.

Volvamos a las dos técnicas utilizadas: la técnica LIBS y la técnica de control de contaminación. En la invención, en particular, en el sistema representado en la figura 1, se asocian estas dos técnicas. Esto plantea unos problemas por la elección de la densidad de potencia D que debe depositarse sobre el material, la elección del tamaño T del haz  
20 láser pulsado focalizado a la altura del material, es decir, el diámetro del punto láser sobre el material, puesto que el punto láser es generalmente circular sustancialmente y la elección de la velocidad de aspiración V.

En efecto, los parámetros D y T tienen unos valores diferentes para las dos técnicas. Y, para lo que se refiere al parámetro V, un valor demasiado grande puede dañar la calidad del análisis espectrométrico: se corre el riesgo "de aspirar" el plasma. Por otra parte, se sabe que la implementación de la técnica LIBS se favorece si se envía un chorro de aire o de gas, por ejemplo, un gas neutro, hacia el plasma, lo que puede necesitar tener que encontrar un equilibrio optimizado para hacer eficaz cada una de las funciones (1) de inyección del aire o del gas y (2) de aspiración.  
25

30 Para la implementación de la invención, en particular, del sistema de la figura 1, es conveniente, por lo tanto, elegir, para los parámetros D, T y V, unas gamas de valores óptimos, compatibles con las dos técnicas utilizadas. Las gamas de valores elegidos se dan a continuación.

El láser pulsado 6 y la focalización se eligen para obtener una densidad de potencia D comprendida en el intervalo que va de  $1 \text{ GW/cm}^2$  a  $50 \text{ GW/cm}^2$ , en la superficie del material 4. A título puramente indicativo y de ninguna manera limitativo, D vale aproximadamente  $30 \text{ GW/cm}^2$ .  
35

Además, la focalización se elige para obtener un haz láser pulsado focalizado cuyo tamaño T está comprendido en el intervalo que va de  $1 \mu\text{m}$  a  $10 \mu\text{m}$ , en la superficie del material 4. A título puramente indicativo y de ninguna manera limitativo, se elige un tamaño T igual a aproximadamente  $5 \mu\text{m}$ .  
40

Y el dispositivo para aspirar y recoger las partículas (bomba-circuito-ciclón en el ejemplo de la figura 1) se elige para obtener una velocidad de aspiración V comprendida en el intervalo que va de 20 m/s a 200 m/s, preferentemente en el intervalo que va de 20 m/s a 150 m/s.  
45

El sistema que se ha descrito haciendo referencia a la figura 1 es de tipo portátil, más generalmente transportable, hasta el lugar donde se encuentra el material contaminado.

50 Pero se puede diseñar un sistema fijo, conforme con la invención, en cuyo caso, hace falta llevar el material contaminado hasta el sistema.

Un ejemplo de un sistema fijo, conforme con la invención, igualmente relacionado con la aplicación al control de contaminación radiológica de superficie de un material, se ilustra esquemáticamente por la figura 2.

55 En el caso de este sistema, el dispositivo para aspirar y recoger las partículas comprende:

- una cabeza de aspiración 42, para aspirar aire que contiene las partículas de la contaminación de superficie,
- una bomba 44 para aspirar el aire,
- con conducto 46 que une la bomba 44 a la cabeza de aspiración 42,
- un alojamiento 48 que está previsto sobre el conducto 46,

65 - una rejilla 50 dispuesta en el alojamiento 48, incluyendo este último dos aberturas 52 y 54 por encima de la rejilla 50, respectivamente a la altura de los dos extremos de esta,

- un filtro 56, por ejemplo, de papel, que es desplazable sobre la rejilla 50 y adecuado para atravesar las dos aberturas 52 y 54 del alojamiento 48 y sobre el que se depositan unas partículas contenidas en el aire aspirado,

5 - un dispositivo 58 para controlar la contaminación a partir de las partículas depositadas sobre el filtro 56 y

- un dispositivo 60 para desplazar el filtro 56 sobre la rejilla 50 y a la altura del dispositivo 58 para controlar la contaminación.

10 Las flechas f muestran el movimiento del aire aspirado.

En el ejemplo de la figura 2, el filtro 56 está en forma de una banda de papel filtro que se desenrolla a partir de una bobina 62. Esta banda se pone en movimiento gracias a unos rodillos de arrastre 64 controlados por un motor no representado.

15 La banda pasa sucesivamente por encima de la rejilla 50 que le sirve de soporte, después a la altura del dispositivo de control 58. Se ve que la banda pasa sobre una placa 66 que le sirve de soporte y que el dispositivo 58 está por encima de esta placa 66.

20 En el ejemplo de la figura 2, este dispositivo 58 es un contador proporcional. Está asociado a unos medios electrónicos de recuento 68.

También se ve un dispositivo 70 para recuperar el papel filtro después de su paso a la altura del contador proporcional.

25 En la figura 2, también se ve el único láser pulsado utilizado 6, por ejemplo, de tipo YAG, el material estudiado 4 que recibe un haz láser pulsado focalizado 72, la fibra óptica 10 que guía el haz hasta las inmediaciones del material 4, atravesando la cabeza de aspiración 42 en la cual todavía está protegida por unos medios no representados. La óptica de focalización del haz láser no está representada.

30 En la figura 2, los diversos medios de recuperación y de análisis de la luz procedente del plasma generado no están representados. Pero el experto en la materia puede adaptar fácilmente los medios correspondientes, relativos a la figura 1, a esta figura 2.

35 En el caso de esta figura 2, se señala que el análisis de la contaminación se efectúa en tiempo real, mientras que se efectúa en tiempo diferido en el caso de la figura 1.

A continuación, se dan unos ejemplos del procedimiento, objeto de la invención:

40 • Ejemplo de procedimiento implementado en modo secuencial:

45 - Control de contaminación al final de saneamiento: el sistema de análisis LIBS se utiliza en modo barrido para caracterizar de la forma más exhaustiva posible la superficie saneada y asegurarse de la ausencia de elementos químicos característicos, por ejemplo, el uranio; en caso de detección de una señal significativa, se pasa a modo extracción; esta extracción se envía a continuación al laboratorio para cuantificación precisa de la contaminación presente (uranio y otros radioelementos, llegado el caso).

50 - Extracción para evaluación del espectro tipo: la parte LIBS del sistema de análisis se utiliza en modo barrido para buscar, sobre las superficies del equipo o de la estructura, una zona donde un elemento característico, por ejemplo, el uranio, está presente de manera no insignificante (a partir de varios  $Bq.cm^{-2}$ ); una buena calibración del aparato LIBS puede permitir remontarse a la cantidad de uranio presente en esta zona, pero esta información no es suficiente para la preparación de las intervenciones en medio radioactivo: es importante conocer el reparto en los diferentes isótopos del uranio; en este caso, una vez identificada una zona de interés en la etapa de análisis LIBS, se efectúa una toma de muestra por el sistema de extracción, enviándose la muestra extraída de este modo al laboratorio para un análisis por un espectrómetro de masa. El análisis LIBS previamente efectuado permite garantizar que la muestra extraída contendrá suficientemente materia para realizar este análisis complementario.

55 • Ejemplo de procedimiento implementado en modo paralelo:

60 - Control de calidad sistemático: la calidad de revestimiento de una pieza, la ausencia de impurezas, pueden requerirse y deber demostrarse por un control sistemático; entonces, la pieza se posiciona delante del sistema; de forma sistemática se efectúa un análisis LIBS así como, simultáneamente, una toma de muestra; el resultado del análisis LIBS sirve para efectuar una primera clasificación inmediata, mientras que el análisis complementario o el control sobre la materia extraída sirve para confirmar, eventualmente por muestreo, el análisis efectuado por LIBS.

65 La invención puede aplicarse en el caso de una contaminación radiológica (control de no contaminación o

## ES 2 628 691 T3

cualificación y cuantificación de una actividad radiológica de superficie sobre un equipo o una estructura) o en el caso de una contaminación química (búsqueda de la presencia de impurezas en la superficie de un material).



**REIVINDICACIONES**

1. Sistema para el análisis de la composición de la capa superficial, concretamente radioactiva, de un material, por espectrometría de plasma inducido por láser, que comprende:
- 5 - un único láser pulsado (6), para generar un haz láser pulsado, adecuado para interactuar con la capa superficial y producir un plasma en la superficie del material (4),
- 10 - un dispositivo (10, 12) de focalización del haz láser pulsado sobre la superficie del material,
- un dispositivo (18, 20) para recoger la luz emitida por el plasma, y
- 15 - un dispositivo (22) para el análisis espectral de la luz recogida de este modo y la determinación de la composición elemental de la capa superficial a partir del análisis espectral;
- caracterizado porque comprende además un dispositivo (30, 32, 34; 42, 44, 46) para aspirar y recoger unas partículas representativas de esta capa superficial, extraídas de ella por el efecto del haz láser pulsado focalizado, con vistas a al menos un análisis complementario cualitativo o cuantitativo o a al menos un control, concretamente un control de contaminación radiológica, a partir de las partículas aspiradas y recogidas.
- 20 2. Sistema según la reivindicación 1, en el que el láser pulsado (6) y el dispositivo de focalización (10, 12) se eligen para obtener una densidad de potencia comprendida en el intervalo que va de 1 GW/cm<sup>2</sup> a 50 GW/cm<sup>2</sup>, en la superficie del material (4).
- 25 3. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el dispositivo de focalización (10, 12) se elige para obtener un haz láser pulsado focalizado cuyo tamaño está comprendido en el intervalo que va de 1 μm a 10 μm, en la superficie del material (4).
- 30 4. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el dispositivo (30, 32, 34; 42, 44, 46) para aspirar y recoger las partículas se elige para obtener una velocidad de aspiración comprendida en el intervalo que va de 20 m/s a 200 m/s.
- 35 5. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el dispositivo de focalización del haz láser pulsado comprende:
- una fibra óptica (10) que tiene un primer extremo conectado al láser pulsado (6) y un segundo extremo, y
- una lente de focalización (12) dispuesta en el segundo extremo de la fibra óptica (10).
- 40 6. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el dispositivo para recoger la luz emitida por el plasma comprende una fibra óptica (18) cuyo un extremo está preferentemente provisto de una lente (20) de recogida de luz.
- 45 7. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque es portátil y en el que el dispositivo para aspirar y recoger las partículas comprende:
- un ciclón de aspiración (30) para aspirar aire que contiene las partículas representativas de esta capa superficial,
- 50 - una bomba (32) para aspirar el aire, y
- con conducto (34) que une la bomba al ciclón.
- 55 8. Sistema según la reivindicación 7, en el que el dispositivo para aspirar y recoger las partículas comprende, además:
- un filtro (36), por ejemplo, de papel, sobre el cual se depositan unas partículas contenidas en el aire aspirado, y
- 60 - un alojamiento (38), eventualmente amovible, que está previsto sobre el conducto (34) para disponer en él el filtro y retirarlo de él con vistas al análisis complementario cualitativo o cuantitativo o al control a partir de las partículas depositadas sobre el filtro.
- 65 9. Sistema según la reivindicación 8, que comprende, además, un dispositivo para el análisis complementario cualitativo o cuantitativo o para el control, en concreto, el control de contaminación radiológica, a partir de las partículas depositadas sobre el filtro
10. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el dispositivo para aspirar y recoger las

partículas comprende:

- 5 - una cabeza de aspiración (42), para aspirar aire que contiene las partículas extraídas de la capa superficial del material,
  - una bomba (44) para aspirar el aire,
  - con conducto (46) que une la bomba a la cabeza de aspiración,
  - 10 - un alojamiento (48) que está previsto sobre el conducto,
  - una rejilla (50) dispuesta en el alojamiento, incluyendo este último dos aberturas (52, 54) por encima de la rejilla, respectivamente a la altura de los dos extremos de esta,
  - 15 - un filtro (56), por ejemplo, de papel, que es desplazable sobre la rejilla y adecuado para atravesar las dos aberturas del alojamiento y sobre el que se depositan unas partículas contenidas en el aire aspirado,
  - un dispositivo (58) para el análisis complementario cualitativo o cuantitativo o el control, en concreto, el control de la contaminación radiológica, a partir de las partículas depositadas sobre el filtro y
  - 20 - un dispositivo (60) para desplazar el filtro sobre la rejilla y a la altura del dispositivo (58) para el análisis complementario cualitativo o cuantitativo o el control, en concreto, el control de la contaminación radiológica.
11. Procedimiento para el análisis por espectrometría de plasma inducido por láser, de la composición de la capa superficial de un material y para la extracción de muestras con vistas a al menos un análisis complementario cualitativo o cuantitativo o a al menos un control de esta capa superficial, procedimiento que implementa el sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado porque comprende una primera etapa de análisis por espectrometría de plasma inducido por láser, una segunda etapa de extracción, realizándose estas primera y segunda etapas de manera simultánea o secuencial y una tercera etapa de análisis complementario cualitativo o
- 25
- 30
- cuantitativo o de control.

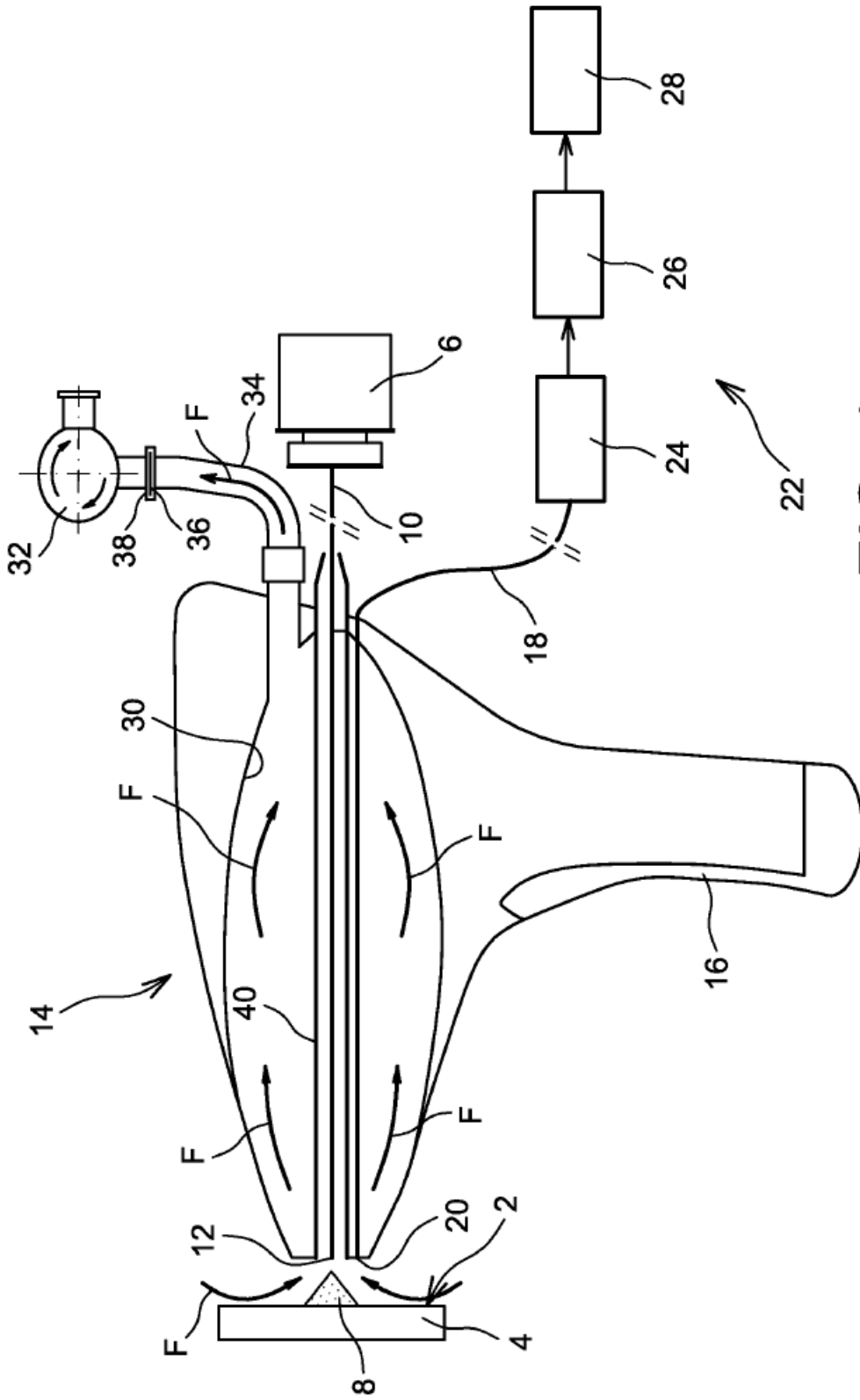


FIG. 1

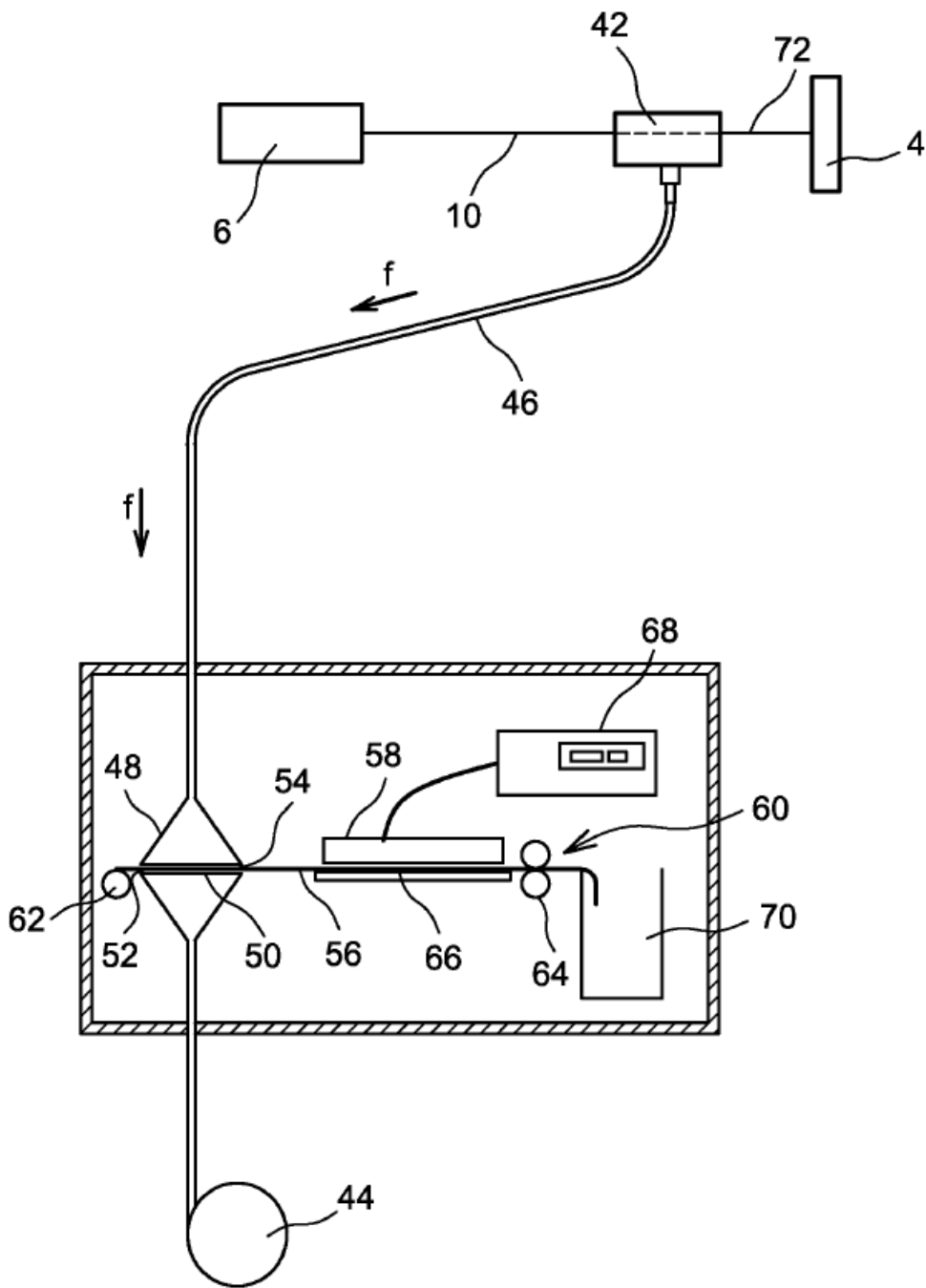


FIG. 2