

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 975 668**

51 Int. Cl.:

G01N 21/3581 (2014.01)

G01N 17/00 (2006.01)

G01N 21/47 (2006.01)

G01N 21/952 (2006.01)

G01N 21/84 (2006.01)

G01N 21/88 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.09.2013 PCT/EP2013/069746**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2014 WO14127856**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2013 E 13791740 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2024 EP 2959285**

54 Título: **Sistema de detección y método de detección de corrosión bajo una capa protectora exterior**

30 Prioridad:
25.02.2013 GB 201303324

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.07.2024

73 Titular/es:
**SUBTERANDT LIMITED (100.0%)
R104, Rutherford Appleton Laboratory, Harwell
Campus, Didcot,
Oxfordshire, OX11 0QX, GB**

72 Inventor/es:
**MANN, CHRISTOPHER MARK y
DUNNE, JOSEPH PETER**

74 Agente/Representante:
IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 975 668 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 de detección y método de detección de corrosión bajo una capa protectora exterior

5 Campo de la invención

Esta invención se refiere a un método y un sistema para detectar la presencia de anomalías en o sobre un sustrato cubierto por un revestimiento o capa protectora, particularmente, pero no exclusivamente, para evaluar niveles de corrosión debajo de capas o revestimientos protectores exteriores, tales como pintura, aislamiento, revestimiento ignífugo o revestimientos protectores anticorrosión, aplicados en o sobre una superficie, como una tubería o una pared.

10

Resumen de la técnica anterior

La detección e identificación de anomalías e imperfecciones estructurales (incluidas grietas y fracturas, penetraciones, variaciones de porosidad, corrosión, disolución y delaminación) en sustratos es importante para el control de calidad, el mantenimiento preventivo y especialmente las consideraciones de seguridad. En este contexto, el sustrato puede definir la estructura de una tubería, panel o marco y puede estar hecho de varios materiales conocidos, incluidos metal o materiales compuestos. Una vez in situ, las estructuras mecánicas formadas a partir de dichos sustratos se someten a una variedad de entornos y/o diferentes presiones aplicadas internamente dentro o externamente al sustrato. Por ejemplo, la carga general puede producir momentos de flexión que inducen tensiones dentro del sustrato. Además, estos entornos pueden ser químicamente corrosivos o mecánicamente abrasivos.

15

20

En términos de resultados negativos, si consideramos una tubería en una fábrica química o un oleoducto que atraviesa un desierto, la ruptura de dicha tubería cerraría todo el sistema y tendría un impacto ambiental y de seguridad. Más específicamente, el líquido que se escapa, como el aceite, debe limpiarse y eliminarse de manera segura, mientras que la liberación rápida a alta presión de un líquido presurizado que viaja por una tubería podría provocar la fragmentación de la tubería y, en consecuencia, la generación de proyectiles de alta velocidad desde el sustrato de la tubería astillada. Por tanto, el mantenimiento regular o mantenimiento predictivo es esencial.

25

Muchos fuselajes de aviones utilizan ahora materiales compuestos en componentes críticos como alas y alerones. Estos materiales son extremadamente fuertes siempre que su integridad estructural permanezca intacta, pero cualquier grieta o delaminación puede provocar una rápida pérdida de rigidez y provocar una falla catastrófica. Por lo tanto, la inspección periódica de la estructura del avión para evaluar la aeronavegabilidad es crítica en áreas importantes de un avión, ya que el sustrato que proporciona resistencia a la estructura del avión generalmente está cubierto por pintura que oscurece la inspección directa.

30

35

Una vez desplegados en el campo, el costo de la evaluación y el tiempo requerido para realizar la evaluación aumentan simplemente debido a la inaccesibilidad física de la parte bajo investigación. En otras palabras, la inspección visual o mecánica es difícil simplemente debido al acceso restringido.

40

Además, el sustrato bajo investigación frecuentemente está cubierto por una capa protectora o capa aislante aplicada (típicamente) en el punto de fabricación final o después del ensamblaje en el campo. Cualquier cubierta limita la evaluación visual directa, y hasta ahora cualquier cubierta o revestimiento requería el uso de equipos de evaluación costosos y ubicados con precisión. Por lo tanto, el mantenimiento proactivo tiene un costo relativamente alto porque una evaluación de la corrosión debajo del aislamiento ("CUI") o de la corrosión debajo de la pintura ("CUP") o de la corrosión debajo de los revestimientos ("CUC") requiere un pelado activo o una eliminación total del material aislante o pintura para realizar una inspección visual u otra inspección cuantitativa del sustrato, después de lo cual se debe volver a aplicar de manera adecuada y segura una nueva capa o capa protectora. Por lo tanto, la eliminación y reaplicación de cualquier recubrimiento o capa tiene un costo, y cualquier proceso de eliminación proporciona un mayor potencial para dañar el sustrato. De hecho, pueden ocurrir situaciones en las que la eliminación del revestimiento y la capa protectora revela una tubería en una condición mecánicamente estable aceptable. En este caso, se podría haber evitado el costo de evaluar el sustrato en busca de signos de desgaste o corrosión, ya que no habría sido necesaria ninguna acción correctiva.

50

Como ejemplo de revestimiento protector, Chartek® es un sistema de revestimiento de protección contra incendios intumescente epóxico de alto rendimiento que se aplica a acero, aluminio y otros sustratos para proteger esos sustratos de los efectos de los incendios por chorros y charcos de hidrocarburos. Chartek® cuenta con el respaldo de muchas aseguradoras comerciales y está destinado principalmente a su uso en entornos de alto riesgo, como las industrias de petróleo, gas, petroquímica y generación de energía y el transporte marítimo. FoamGlas® es otra forma de cubierta aislante/protectora (consulte http://www.industry.foamglas.com/___/frontend/handler/document.php?id=303&type=42).

55

El documento GB 2 398 946 A (QinetiQ) describe el uso de detección por radar de microondas para discontinuidades de la superficie, particularmente en la superficie de una vía de ferrocarril. Se proporciona un sistema de radar de ondas milimétricas para transmitir pulsos cortos de radiación de ondas milimétricas hacia la superficie bajo prueba. Si la superficie no tiene imperfecciones ni defectos, la mayor parte de la radiación transmitida se refleja en la dirección esperada. Se proporciona al menos una antena receptora para detectar si alguna radiación transmitida se ha dispersado desde un defecto en la superficie en una dirección distinta a la dirección de reflexión esperada. La antena transmisora también puede funcionar como antena receptora, es decir, monoestática, sin embargo, se prefiere una disposición biestática que tenga antenas de transmisión y recepción separadas. Se puede usar más de una antena receptora para inspeccionar el

60

65

riel desde diferentes ángulos para proporcionar una mayor sensibilidad y ayudar a determinar el tipo de defecto. Las propiedades de polarización de la radiación dispersada pueden usarse para proporcionar información sobre el tipo de defecto. Se puede proporcionar adicional o alternativamente una antena receptora adicional en la dirección de reflexión esperada para detectar una caída en la potencia de la señal recibida cuando ocurre un defecto.

5

El documento US 2005/098728 A1 (Alfano) proporciona un sistema y método para detectar de forma no destructiva anomalías en el material debajo de una superficie recubierta. Una unidad de iluminación de terahercios (THz) ilumina un área de la superficie revestida. Una unidad de detección detecta la luz reflejada desde el área iluminada de la superficie recubierta, y una unidad de procesamiento visualiza el área iluminada de la superficie recubierta a partir de características ópticas recibidas desde la unidad de detección. Por lo tanto, Alfano sugiere que la mayoría de las pinturas y revestimientos protectores son transparentes en estas bandas de ondas, por lo que la corrosión es detectable (en el sentido de que puede iluminarse y, por tanto, observarse en determinadas longitudes de onda) a través de la pintura o de muchos otros revestimientos protectores.

10

15

Alfano '728 y QinetiQ '946, sin embargo, dependen de que la muestra bajo investigación se mantenga a una distancia y orientación determinadas del aparato de observación. Más específicamente, estos sistemas de la técnica anterior se basan en iluminación a lo largo del eje, en línea de visión u ortogonal desde una fuente altamente direccional. Este enfoque de iluminación introduce problemas debido a la reflexión especular de la superficie y requiere que el aparato de inspección (o la muestra) se repositone en cada punto de medición. El requisito de orientación del detector y/o colocación de la muestra impone graves limitaciones a la implementación práctica de sus técnicas en entornos del mundo real, particularmente aquellas que se encuentran al aire libre en puentes, plataformas petrolíferas y similares donde la corrosión presenta un problema importante. Además, los sistemas de Alfano '728 y QinetiQ '946 se basan en la iluminación de la muestra con fuentes de frecuencia direccionales y coherentes de ondas milimétricas, submilimétricas o de terahercios. La fuente coherente proporciona la capacidad de evaluar la fase de las ondas reflejadas, mientras que una fuente no alineada se considera problemática desde la perspectiva de la resolución de características.

20

25

Los enfoques como los que se enseñan en Alfano '728 y QinetiQ '946 se basan en una alineación cuidadosa con la muestra y la necesidad de girar, es decir, rotar o repositonar, ya sea el sistema de inspección o la muestra bajo prueba para examinar efectivamente la muestra y/o recuperar (es decir, recibir) datos suficientes para el análisis. La rotación de la muestra o del detector da como resultado una complejidad significativa del aparato y un mayor costo, y la rotación reduce además la velocidad de evaluación. Por lo tanto, los sistemas de la técnica anterior de Alfano '728 y QinetiQ '946 pueden considerarse ejecuciones basadas en laboratorio porque su construcción hace que la inspección del sustrato in situ sea muy difícil, si no imposible, pero al menos muy poco práctica. Además, el uso de una poderosa fuente coherente artificial solo recupera el componente de reflectividad de los objetos colocados dentro de la escena y por lo tanto cualquier desalineación o variación de la textura superficial de la muestra puede ser mal interpretada como una variación de reflectividad incluso para superficies libres de corrosión, es decir, los sistemas están sujetos a un disparo falso.

30

35

El documento DE 10 2010 003 112 A1 se refiere a un método que implica irradiar luz infrarroja usando una fuente de infrarrojos con respecto a la cara límite de un componente semiconductor de película delgada, donde la frecuencia de la radiación infrarroja es de 150 THz. La radiación infrarroja reflejada desde la cara límite se detecta para adquirir una imagen de reflectancia y la imagen de reflectancia adquirida se compara con una imagen de reflectancia esperada.

40

El documento EP 1 650 555 A1 describe un sistema que utiliza la temperatura sustancialmente estable de un objeto recubierto, junto con un sistema de detección óptica, para ver selectivamente defectos y características del objeto debajo del recubrimiento sin la necesidad de calentamiento transitorio o iluminación IR e imágenes de reflectancia. El detector óptico, como una cámara de infrarrojos, puede adaptarse a las longitudes de onda en las que el material de recubrimiento es sustancialmente transparente, maximizando así la claridad de visualización de los defectos y características bajo el recubrimiento, y distinguiéndolos de cualquier característica espuria en la superficie superior del revestimiento.

45

50

El documento US 4.647.220 A describe un método y aparato para la identificación y localización no destructiva de la corrosión del subrevestimiento sobre una superficie metálica revestida empleando termografía infrarroja. El aparato comprende una fuente de calor para dirigir radiación infrarroja pulsada sobre una superficie de prueba; un escáner para explorar la superficie de prueba en busca de radiación infrarroja emitida desde la misma; un detector para capturar dicha radiación emitida y convertirla en una señal representativa de las características térmicas de la superficie; y aparato de visualización de vídeo para visualizar la señal como un mapa térmico de la superficie. El método comprende los pasos de irradiar una superficie de prueba y detectar las diferencias de temperatura que se producen en la superficie irradiada.

55

El documento US 2001/042834 A1 describe un proceso para la detección de defectos en un artículo que comprende escaneo por infrarrojos del artículo a medida que cambia su temperatura y comparación de los escaneos por infrarrojos para determinar la regularidad del patrón de enfriamiento/calentamiento. Cuando el artículo es irregular, como en áreas marginales, se realiza un modelado termodinámico para establecer un patrón hipotético de enfriamiento/calentamiento para un artículo sin defectos.

60

Resumen de la invención

65

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para detectar la presencia de anomalías en o sobre un sustrato cubierto por un revestimiento o capa protectora, según la reivindicación 1. En un aspecto adicional de

la invención, se proporciona un sistema de detección para identificar anomalías estructurales en un sustrato cubierto por una capa o revestimiento según la reivindicación 6. Ciertas formas de realización se definen en las reivindicaciones adjuntas.

5 Ventajosamente, las formas de realización de la presente invención proporcionan un sistema y una técnica de detección que hace uso de iluminación radiativa electromagnética natural en la banda de aproximadamente treinta gigahercios (30 GHz) a aproximadamente 30 THz para detectar de manera confiable deformaciones, penetraciones, porosidad, fracturas, grietas, corrosión, disoluciones y delaminación de un sustrato bajo una capa protectora y/o una capa de aislamiento. Las señales de prueba incoherentes de ondas milimétricas, submilimétricas y de terahercios se utilizan para sondear sustratos metálicos que están cubiertos por una capa protectora o una capa exterior, como pintura o aislamiento térmico, que oscurece la evaluación directa del sustrato. Las señales de prueba incoherentes, que pueden provenir de una fuente pasiva natural (tal como el cielo) y/o de una fuente de ruido activa, proporcionan dispersión de señal y variación angular de las señales de prueba con respecto a la incidencia angular sobre el sustrato. La iluminación del sustrato permite diferenciar entre secciones corroídas y no corroídas de la muestra porque la reflectividad (y emisividad) de un sustrato a base de metal depende en gran medida de la resistividad de la superficie, que a su vez depende del estado corroído. Se dispone un detector/cámara para captar reflejos del sustrato y un sistema de control asociado identifica regiones de la muestra que reflejan la iluminación de la señal de prueba de manera diferente o que de otra manera indican una variación de un valor de referencia. Por tanto, las diferencias significan la presencia o falta de corrosión o, de hecho, la presencia de otras anomalías dentro o sobre el sustrato.

La iluminación natural pasiva, incoherente y dispersa de ondas milimétricas, submilimétricas y de terahercios del sustrato bajo investigación permite diferenciar entre secciones corroídas y no corroídas de la muestra. El sistema de detección admite pruebas no destructivas y, de hecho, pruebas in situ (sin desmontaje).

Las diversas formas de realización proporcionan un sistema que tiene la capacidad de observar la muestra directamente desde una distancia sin tener que estar rígidamente unido a un marco de referencia; esta libertad ofrece un beneficio considerable desde la implementación práctica en un escenario del mundo real. El uso de una fuente pasiva extendida que proporciona una iluminación de ángulo ancho representa una mejora significativa con respecto a la técnica anterior, particularmente para visualizar superficies no planas tales como tuberías o tubos verticales.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán formas de realización ejemplares de la presente invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- FIG. 1 muestra una tubería típica, incluida una capa de aislamiento;
- FIG. 2 es una representación de una metodología de detección según una forma de realización de la presente invención;
- FIG. 3 es una representación de una metodología de detección utilizada adicionalmente en una forma de realización preferida de la presente invención;
- FIG. 4 ilustra las limitaciones de detección de una fuente coherente con respecto a un sustrato de prueba esférico o cilíndrico;
- FIG. 5 es una representación de una metodología de detección preferida que muestra los efectos del uso de una fuente de terahercios omnidireccional extendida e incoherente;
- FIG. 6 es una representación esquemática de un sistema de detección preferido para identificar la corrosión bajo aislamiento; y
- FIG. 7 muestra una forma de realización para una fuente activa del sistema de detección CUI o CUP o CUC de la FIG. 6;
- FIG. 8 es una representación de una ruta de transmisión óptica en un receptor preferido de un sistema de evaluación de la corrosión;
- FIG. 9 ilustra el origen de los componentes radiométricos que contribuyen a una señal vista por el sistema de evaluación de la corrosión de, por ejemplo, la FIG. 6;
- FIGs. 10 y 11 muestran un sistema de detección de corrosión que utiliza la emisividad para evaluar la presencia de corrosión debajo de una capa.

Descripción detallada de una forma de realización preferida

FIG. 1 muestra un sistema de tuberías típico 10. Una tubería 12 está hecha de un sustrato que está sujeto a alguna forma de corrosión 14, tal como oxidación en el caso de una tubería a base de hierro. La tubería 12 puede transportar, dentro de su interior 13, cualquier cantidad de materiales (incluido aceite u otros productos químicos) y puede estar revestida internamente o su sustrato recubierto externamente con una capa protectora, tal como una pintura, o protegido de otro modo por una capa aislante externa 16. En este último aspecto, la capa 16 puede ser un revestimiento térmico que se fija en su lugar alrededor del tubo de una cubierta externa 18. De hecho, la capa aislante 16 puede estar formada por dos hemisferios (16a, 16b) que están sujetos entre sí por la cubierta externa 18 en combinación con alguna forma de mecanismo de bloqueo 20 que actúa a través de la cubierta externa 18. El experto entenderá la disposición del sistema de tuberías 10 y cómo la capa aislante 16 se mantiene en su lugar alrededor de la tubería 12 o se aplica de otro modo (en el sentido de estar adherida a ella).

La capa aislante 16, que puede ser una solución pulverizada o puede incluir un revestimiento pulverizado que ofrece resistencia a la corrosión, es transparente entre longitudes de onda milimétricas y micrométricas. Los materiales típicos para la capa (ya sea aislante y/o protectora) incluyen plásticos y compuestos de fibra de carbono y Kevlar.

5 FIG. 2 es una representación de una metodología de detección según una forma de realización de la presente invención. Los inventores han reconocido que la radiación electromagnética de fondo en bandas de frecuencia seleccionadas del cielo (tales como en longitudes de onda milimétricas, submilimétricas y particularmente en el rango de terahercios) proporciona una fuente de gran angular que, cuando incide sobre un metal, proporciona iluminación de la superficie que, tras la detección mediante un detector adecuadamente sensible a la longitud de onda, permite contrastar la reflectividad de áreas superficiales adyacentes de metal. De hecho, la mayoría de los materiales no metálicos en las regiones milimétrica, submilimétrica y de terahercios no son completamente opacos, sino que tienen cierto nivel de transparencia. La transparencia de un material no metálico variará según su espesor y su tangente de pérdida dieléctrica, lo que a su vez dependerá en gran medida de su integridad estructural, pureza y contenido de agua. Por lo tanto, las longitudes de onda milimétricas, submilimétricas y micrométricas son capaces de atravesar el aislamiento y, en consecuencia, pueden iluminar el metal que se encuentra debajo del aislamiento. Por ejemplo, una longitud de onda de 1,199 mm (nominalmente 250 GHz) pueden proporcionar una iluminación razonable (e imágenes procesadas) de una superficie metálica bajo una capa de pintura protectora, aunque se logra una mejor resolución con longitudes de onda de aproximadamente 0,300 mm (nominalmente 1 THz), siendo estas frecuencias más altas aún capaces de penetrar el aislamiento circundante y una mayor reflexión superficial. De hecho, en general, el contraste de reflectividad es peor en frecuencias más bajas. Se observa que la penetración es peor para frecuencias más altas, aunque el contraste en la reflectividad del sustrato es mayor a frecuencias más altas.

Este rango de 30 GHz a 30 THz dentro del espectro electromagnético corresponde a un rango de longitud de onda de aproximadamente diez milímetros a aproximadamente diez micrones. En este rango, se encuentra disponible comercialmente tecnología de detección con la sensibilidad necesaria para medir la iluminación radiativa electromagnética natural. Este rango también corresponde aproximadamente al espesor útil de sustratos y capas compuestas, aislantes y protectoras en uso comercial en las industrias aeronáutica, automovilística, petrolera, gasífera, química, energética, de construcción (incluida la infraestructura) y naviera. Por lo tanto, las técnicas y sistemas de evaluación de las formas de realización preferidas pueden, por ejemplo, buscar daños en las alas de los aviones e inspeccionar las capas de pintura en cuanto a calidad y profundidad. El sistema se puede emplear para evaluar cascos de barcos (tanto por dentro como por fuera), cubiertas y suelos, como alrededor de los baños. Los tanques de almacenamiento, los recipientes a presión y las tuberías de los camiones cisterna se pueden evaluar para detectar cambios estructurales, al igual que otras tuberías y pódicos utilizados en plataformas petroleras, plantas químicas y plataformas de perforación. Por lo tanto, la invención tiene amplia aplicación en sistemas de evaluación de infraestructuras en general, incluidos cables de soporte y puentes.

Ahora se ha apreciado que la iluminación natural de la muestra se producirá en un entorno exterior debido a que el entorno fuente está a una temperatura diferente a la del entorno de la muestra. El cielo 30, por ejemplo, es extremadamente frío debido a que el fondo cósmico frío del espacio exterior es visible a través de la atmósfera terrestre. Es probable que los alrededores de la muestra sean relativamente cálidos con respecto al cielo, y este diferencial de temperatura proporciona buenas condiciones de iluminación pasiva.

Dado que se puede considerar que el sustrato bajo investigación es generalmente homogéneo, los contrastes en la reflectividad permiten diferenciar y, por lo tanto, identificar áreas de corrosión (o malformación) en relación con áreas que tienen una mayor integridad del sustrato. En otras palabras, los inventores han reconocido que una iluminación pasiva de un sustrato con una fuente de ruido de banda ancha 35 (tal como del cielo/espacio exterior 30 en longitudes de onda de hasta aproximadamente 10 micrones y una temperatura de fuente de setenta y tres Kelvin) proporciona dispersión de longitud de onda sobre una superficie de sustrato 34, con emisividad/reflectividad 36 de la superficie de sustrato 34 (a una temperatura ambiente nominal de 293 K) detectable mediante una cámara/detector 32 adecuado. Más específicamente, al utilizar la iluminación natural de gran angular en las bandas antes mencionadas del espectro electromagnético, es posible obtener imágenes del área de muestra utilizando una cámara pasiva de "sólo recepción", como las que ahora están disponibles. La naturaleza de la fuente seleccionada elimina la necesidad de que la cámara/detector 32 se mantenga a una distancia u orientación específica con respecto a la muestra. Además, debido a que la reflectividad de todos los metales depende en gran medida de la resistividad de la superficie que a su vez depende del estado corroído, la técnica de la forma de realización se puede utilizar para identificar regiones de la muestra que reflejan la iluminación de manera diferente, indicando así la presencia o falta de corrosión (u otras anomalías, como se menciona en este documento) en o sobre el sustrato.

Más particularmente, el principio de iluminación de muestra de la forma de realización en el contexto de un entorno exterior da como resultado que la señal fría del cielo se refleje desde la superficie del metal subyacente, a través de la pintura que es transparente en estas longitudes de onda, y en el receptor pasivo sólo la cámara de imágenes. Las áreas corroídas debajo de la pintura reflejan la señal del cielo frío con menos fuerza debido a la mayor resistividad superficial asociada con el metal corroído. Las áreas corroídas en este caso parecen más cálidas que el área no corroída. La intensidad de la diferencia de señales da una indicación del nivel de corrosión. Por tanto, el cielo constituye una fuente de ruido frío.

65

5 En términos de la cámara/detector 32, se podría usar una velocidad de captura típica de diez fotogramas por segundo o menos, sujeto al número de detectores (ya sea basados en una disposición de trama u óptica giratoria) disponibles dentro del sistema de cámara. Por lo tanto, la óptica de la cámara puede incluir espejos de escaneo y enfoque; estas configuraciones se analizarán a continuación. La posición de la cámara suele ser de unos treinta centímetros por encima de la muestra, aunque la posición dependerá de la intensidad de la señal, la resolución óptica y el tamaño del defecto esperado. Normalmente, la evaluación del área de muestra cubrirá entre 100 cm² y 1000 cm² y se realizará en un intervalo de entre uno y cinco segundos aproximadamente. El funcionamiento de la cámara es una elección de diseño y se relaciona con la velocidad y la resolución, como se entenderá.

10 La cámara puede estar vinculada a una pantalla que proporciona una imagen o representación de la integridad física, homogeneidad y/o estado de corrosión del sustrato. La cámara, y en particular su procesador de control, pueden configurarse para proporcionar un informe numérico de la muestra con referencia cruzada a la ubicación de la muestra con respecto a un punto de referencia conocido.

15 En la FIG. 2, el cielo proporciona una iluminación de gran angular procedente de una fuente pasiva de longitudes de onda milimétricas y submilimétricas y frecuencias de terahercios. Por el contrario, la FIG. 3 es una representación de una metodología de detección, con la fuente de longitudes de onda milimétricas y submilimétricas de gran angular incoherente y frecuencias de terahercios proporcionadas desde una fuente local extendida 40 que funciona nominalmente a aproximadamente 473 K (por ejemplo, la fuente extendida 40 es una fuente de infrarrojos que también es altamente emisiva en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas y frecuencias de terahercios; tales fuentes son fácilmente conocidas). La disposición de la FIG. 3 por lo tanto compensa las condiciones ambientales naturales que no son ideales para la evaluación, por ejemplo, cuando una nube densa puede debilitar la señal del cielo frío o cuando la muestra que se investiga está en el interior. Para estas condiciones, la iluminación activa se puede lograr utilizando un cuerpo negro extendido que reemplaza o aumenta la señal pasiva que se origina en el cielo. Con respecto a la naturaleza de la fuente extendida del cuerpo negro, ésta puede seleccionarse para que sea más caliente o más fría que las condiciones ambientales, pero debe existir una diferencia sustancial de temperatura con respecto a la ambiental en las proximidades de la muestra. Por ejemplo, un cuerpo negro que tiene una temperatura en el intervalo de aproximadamente 450 k a aproximadamente 550 K proporciona un diferencial de temperatura con respecto a la ambiente de entre aproximadamente 130 k y aproximadamente 250 k. La fuente extendida de cuerpo negro representa así una fuente de ruido de banda ancha dispuesta para proporcionar dispersión. El destinatario experto conoce fácilmente la configuración de un cuerpo negro extendido de acuerdo con las formas de realización de la presente invención.

35 Para la detección de una reflectividad del cielo como fuente pasiva fría, cabe señalar que se puede utilizar un reflector para obtener imágenes del cielo sobre la superficie de prueba. Por tanto, el reflector tiene una inclinación ajustable. Además, en términos de funcionamiento del detector para un cielo frío pasivo, el detector 32 tiene en cuenta que la atmósfera debe ser transparente y, en consecuencia, el detector opera en bandas de frecuencia (es decir, ventanas atmosféricas) que son transparentes con respecto al agua atmosférica y al oxígeno atmosférico. Según la invención, el detector que utiliza el cielo busca por lo tanto respuestas de reflectividad especialmente en bandas de frecuencia optimizadas (i) entre aproximadamente 30 GHz y aproximadamente 60 GHz, (ii) entre aproximadamente 65 GHz y aproximadamente 100 GHz, (iii) entre aproximadamente 120 GHz y aproximadamente 157 GHz, (iv) entre aproximadamente 160 GHz y aproximadamente 181 GHz, (v) entre aproximadamente 185 GHz y aproximadamente 270 GHz y (vi) entre aproximadamente 320 GHz y aproximadamente 360 GHz. La evaluación de la reflectividad 5 desde el cielo como fuente fría no ocurre por encima de 500 GHz. El funcionamiento a diferentes frecuencias utilizando el cielo como fuente pasiva de frío puede ocurrir al aumentar la altitud, ya que se reduce el efecto atenuante del agua y el oxígeno atmosféricos.

50 En la FIG. 4, una muestra de prueba redonda (tal como un tubo cilíndrico 12) se ilumina con una fuente 50 de frecuencia milimétrica, submilimétrica o de frecuencia de terahercios direccional coherente. La direccionalidad la proporciona una bocina o guía de ondas adecuada 52. Siempre que el posicionamiento espacial del detector corresponda con los ángulos de reflexión de la superficie, el detector recibirá alguna señal para su procesamiento y evaluación, normalmente controlada por un procesador local configurado para ejecutar código de programa que genera una imagen o proporciona una representación numérica (u otra indicación) de áreas de prueba adyacentes dentro del sustrato de la tubería. Sin embargo, con los tubos cilíndricos, el ángulo de reflexión de una onda electromagnética incidente se ve gravemente alterado por la posición de impacto de esa onda electromagnética en el tubo; esto significa que un receptor 52 colocado estáticamente que tenga un ángulo de recepción limitado no recibirá reflexiones en ángulo adverso (y, por lo tanto, la densidad de flujo de las ondas electromagnéticas reflejadas es relativamente baja). Expresando esto de otra manera, cuando la fuente y el detector están colocados simétricamente en el eje central de un cilindro, una fuente estrecha y coherente logra una densidad de flujo reflejada significativa de ondas reflejadas en el receptor, pero una vez que la fuente y el detector se encuentran fuera del eje central, entonces la señal emitida por el direccional es reflejada por el cilindro para no alcanzar el detector.

65 Las soluciones de la técnica anterior en Alfano '728 y QinetiQ '946 funcionan según la premisa de la FIG. 4 ya que utilizan sistemas altamente controlados y orientados a la posición porque utilizan una fuente local dirigida direccionalmente y un receptor posicionado para recibir cualquier reflexión. Específicamente, como ahora se entenderá, Alfano '728 y QinetiQ '946 se basan en iluminación "a lo largo del eje", línea de visión u ortogonal de una fuente altamente direccional, lo que introduce problemas de reflexión especular desde la superficie y requiere que el aparato o la muestra a reposicionar en

cada punto de medición. En pocas palabras, los sistemas de evaluación de la técnica anterior no logran utilizar ondas milimétricas naturales, ondas submilimétricas o señales de frecuencia de terahercios reflejadas o emitidas por el propio sustrato o aquellas señales emitidas desde los alrededores del sustrato y posteriormente reflejadas desde la superficie del sustrato.

5

La presente invención hace uso de una fuente natural de gran angular y, opcionalmente, adicionalmente una fuente local extendida, pero en ambos casos estas fuentes son incoherentes y nominalmente omnidireccionales (en el sentido de que las emisiones de las fuentes están dispersas angularmente). Como se entenderá con referencia a la FIG. 5, una fuente omnidireccional extendida e incoherente de terahercios compensa las irregularidades de la superficie asegurando que la densidad de flujo 54 de las ondas electromagnéticas reflejadas sea suficientemente alta en la cámara/detector 32 independientemente del ángulo de incidencia relativo de las ondas electromagnéticas desde las longitudes de onda milimétricas, sub-milimétricas o fuente de frecuencia de terahercios a la superficie cilíndrica del tubo 12.

10

Por lo tanto, las formas de realización preferidas de la presente invención hacen uso de una apreciación de las capacidades penetrantes pero reflectantes y emisivas de una banda seleccionada de longitudes de onda en asociación con el beneficio de una iluminación de gran ángulo procedente de una fuente incoherente.

15

Más particularmente, aunque las señales de reflectividad y emisividad de fuentes naturales son extremadamente débiles, los inventores han reconocido que proporcionan una fuente de información valiosa sobre la homogeneidad o integridad del sustrato. Específicamente, una fuente pasiva (como el cielo) permite evaluar la emisividad o reflectividad de la superficie del sustrato, o la transmisividad del sustrato de su interior en el caso de un compuesto o el uso de cualquier capa protectora o aislante. De hecho, los sustratos y materiales metálicos continuos son completamente opacos, aunque la reflectividad de su superficie en las regiones milimétrica, submilimétrica y de terahercios dependerá en gran medida de su resistividad superficial y/o de cualquier recubrimiento o capa de corrosión.

20

25

De hecho, las formas de realización de la presente invención pueden hacer uso tanto de una fuente pasiva de gran angular como de una fuente activa de gran angular de longitudes de onda milimétricas, submilimétricas o de frecuencia de terahercios. Usando una fuente pasiva, la reflectividad de la superficie de un sustrato se puede determinar y contrastar con un valor de reflectividad de referencia conocido para nominalmente el mismo sustrato homogéneo en condiciones aceptables (y preferiblemente perfectas). Por lo tanto, cualquier variación en la reflectividad entre el valor medido y el valor de referencia proporciona una indicación de degradación del sustrato, por ejemplo, oxidación o picaduras y otros defectos estructurales (como se describe en este documento). Por lo tanto, la oxidación u otras anomalías estructurales provocarán una disminución relativa de la reflectividad. El valor de referencia se puede determinar a partir de pruebas empíricas de un sustrato nuevo y prístino en el punto de instalación/fabricación o de otro modo a partir de estándares internacionales aceptados.

30

35

En el caso de que la fuente pasiva incoherente de gran angular se sustituya por una fuente activa de ruido incoherente de gran angular, la reflectividad detectable en el espectro de frecuencias milimétricas, submilimétricas y de terahercios inunda otros efectos mensurables locales (como la emisividad) asociados con el sustrato de prueba. En consecuencia, salvo por la magnitud de la señal detectada, la misma área del sustrato debe tener un perfil de reflectividad idéntico (o casi idéntico) bajo iluminación tanto activa como pasiva. En el caso de que exista una variación notable (que puede determinarse comparando puntos de datos usando un programa de computadora o mediante inspección visual de un trazado en una pantalla o impresión) entre perfiles para el área del sustrato, entonces la variación infiere un cambio en la transmisividad del aislamiento circundante (ya sea una pintura protectora o una barrera de protección térmica) y, por lo tanto, identifica una falla que requiere acción correctiva o monitoreo adicional. Además, el sistema puede configurarse para evaluar un cambio en la transmisividad basándose en valores esperados o de referencia para la capa o revestimiento protector que supuestamente protege el área superficial del sustrato que está bajo evaluación de reflectividad. En otras palabras, una fuga de agua u otro fluido en la capa o revestimiento protector circundante que cubre el sustrato provoca un cambio detectable en las características de transmisividad en la capa o revestimiento protector como se refleja en los perfiles espectrales cambiantes en milímetros, submilímetros y espectro de frecuencias de terahercios en condiciones de iluminación activa y pasiva. En otras palabras, el contraste entre los perfiles de reflectividad activa y pasiva infiere un cambio en la transmisividad cuando los dos perfiles de reflectividad difieren para la misma área bajo iluminación gran angular incoherente activa y pasiva. El software del sistema puede apreciar una diferencia significativa basada en la superación de un valor umbral sumado en todo el espectro común seleccionado utilizado para la reflectividad en las fases de prueba activa y pasiva, o puede basarse en un número absoluto.

40

45

50

55

El desencadenante y el método que se seleccionan entre la evaluación de un cambio significativo que potencialmente infiere corrupción o contaminación de la capa o recubrimiento serán fácilmente apreciados por el experto en la técnica.

60

Por lo tanto, el sistema de detección y evaluación de la presente invención está configurado para identificar el cambio o cambio sospechado en la homogeneidad (tal como se determina mediante el contraste de perfiles espectrales para mediciones de reflectividad observadas en entornos de iluminación de terahercios de gran ángulo, incoherentes, pasivos y activos) generando una advertencia o salida sensorial. Normalmente, el sistema de detección y evaluación se realiza en software (ejecutado por un procesador de control) y, por lo tanto, responde a los datos espectrales capturados y representados por la cámara/detector 32 de, por ejemplo, la FIG. 5. La cámara/detector son parte de un sistema de imágenes controlado por un procesador que está configurado para evaluar respuestas espectrales en la banda de 30 GHz

65

a 30 THz, aunque se pueden seleccionar ventanas de frecuencias específicas y relativamente estrechas dentro de esta banda relativamente amplia (como se describe bajo iluminación fría pasiva por el cielo).

En resumen, al medir las propiedades de transmisión aparentes de un recubrimiento no metálico ("transmisividad"), cualquier variación del material, defecto estructural o ingreso de impurezas en el recubrimiento (o capa aplicada, según sea el caso) producirá un contraste de señal que puede ser resuelto y marcado para atención. Por ejemplo, el contraste puede verse como un pico en una pantalla, pico que surge porque la salida de la cámara/detector 32 produce un voltaje más alto en un primer punto de inspección del sustrato con respecto a un segundo punto de inspección del sustrato.

Con respecto a la detección pasiva, se ha apreciado además que la reflectividad no es el único componente que contribuye al perfil de la señal detectada dentro del espectro milimétrico, submilimétrico y micrométrico; emisividad también es un factor. En las metodologías operativas de la presente invención también se contempla una evaluación de la emisividad de una superficie en el espectro milimétrico, submilimétrico y micrométrico, cuyo proceso de evaluación es particularmente aplicable a la evaluación de la corrosión en sustratos cubiertos por una capa o revestimiento. La cámara/detector 32, sin embargo, observa una señal de potencia total en la banda de ondas milimétrica, submilimétrica y micrométrica porque la reflectividad y emisividad pasivas no pueden resolverse directamente a partir de una única evaluación de un área de un sustrato.

Para un sustrato que está cubierto por un recubrimiento o capa protectora, la evaluación de la emisividad siempre requerirá un diferencial de temperatura entre la superficie del sustrato de prueba y sus alrededores.

Los componentes de reflectividad y emisividad en el espectro observado de 30 GHz a 30 THz se pueden diferenciar introduciendo una diferencia térmica para el sustrato entre dos mediciones separadas. Entonces, para el ejemplo de una tubería detrás del aislamiento, primero se podría tomar una imagen de la tubería con un líquido frío corriendo a través de ella y luego con un líquido caliente corriendo a través de ella. La tubería metálica alcanzaría el equilibrio térmico rápidamente debido a la conducción de calor a través del metal, mientras que el aislamiento circundante alcanzaría el equilibrio térmico mucho más lentamente debido a los procesos de convección. Por lo tanto, el nivel de mejora del contraste observado poco después de que se establece el diferencial térmico daría una indicación de que es la superficie del sustrato la que tiene corrosión en lugar de que el aislamiento tenga un contaminante con transmisividad disminuida.

Una diferencia de temperatura mínima puede estar en la región de aproximadamente un grado centígrado, aunque las diferencias térmicas pueden ser decenas y preferiblemente muchas decenas, si no cientos, de grados. Más específicamente, la cámara/detección 32 y particularmente el software de control relacionado está configurado para contrastar las áreas del sustrato a lo largo del tiempo para permitir que se evalúen las variaciones relativas de temperatura entre el sustrato bajo prueba y sus alrededores. En particular, se observa una mayor emisividad en presencia de defectos superficiales, tales como oxidación. La fuente emisora, a este respecto, puede ser el propio sustrato dado que el sustrato puede representar una barrera física (tal como una tubería) entre un revestimiento exterior a una primera temperatura en el exterior del sustrato y un fluido a una temperatura diferente y en contacto con una superficie interior del sustrato.

Desde la perspectiva de evaluar la emisividad, una fuente externa que tenga una firma de temperatura opuesta mejorará el contraste. Por ejemplo, una tubería caliente en un fondo pasivo natural frío tendrá un mayor contraste que una tubería fría en un fondo frío. Esto se debe a que el defecto emisivo emitirá más señal caliente y reflejará menos señal fría que la reflectividad más alta de cualquier región no corroída. Lo mismo ocurriría con una tubería fría en un fondo caliente. Por lo tanto, para materiales a temperatura elevada, la emisividad relativa del material se puede utilizar para proporcionar un contraste espectral que sea indicativo de la presencia de una impureza local o de un cambio estructural en el sustrato.

Este problema de reflexión especular indeseable experimentado con los sistemas de la técnica anterior se aborda porque la fuente térmica de las formas de realización preferidas tiene un área extendida y generalmente (si no completamente) omnidireccional o aleatoria en términos del origen y la dirección desde la cual la señal (de, p. ej., la fuente submilimétrica) se emite hacia la muestra bajo investigación. En consecuencia, la curvatura de la muestra no impide que las ondas reflejadas entren en la apertura de la cámara, independientemente de la posición de la cámara/detectores sobre la muestra. De hecho, la fuente de gran angular significa que la cámara puede ver simultáneamente una proporción significativa del cilindro; esto aumenta drásticamente la velocidad de evaluación al tiempo que reduce los costos y mejora la idoneidad para las mediciones in situ en un entorno industrial típico.

La dispersión aleatoria procedente de la fuente incoherente extendida 40 mitiga la reflexión especular mediante el promedio. De hecho, los inventores han apreciado que la iluminación de gran ángulo elimina, por lo tanto, la activación falsa al aumentar la densidad de flujo en las reflexiones que inciden sobre la matriz de detectores en el receptor.

FIG. 6 es una representación esquemática de otro sistema de detección preferido para identificar la corrosión bajo aislamiento (CUI), con la configuración particularmente apropiada en un entorno de espacio limitado donde el acceso a la muestra está restringido. En la FIG. 6, se observa que la cámara/detector 32 (incluyendo la electrónica de control asociada) está ubicada detrás de una abertura 60 en una fuente extendida incoherente 40 que proporciona una iluminación de gran ángulo a partir de ondas electromagnéticas dispersas aleatoriamente en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas o bajas frecuencias de terahercios. En la FIG. 6, la cámara/detector mira a través de un agujero en la fuente extendida permitiendo que ambos se coloquen a lo largo de la mira de la cámara.

Además, para algunas aplicaciones, la fuente ampliada de las FIG. 3, 5 y 6 puede tener una superficie curvada alrededor de un radio, aumentando así el área de muestra que se puede ver simultáneamente.

5 La naturaleza de la fuente empleada en las diversas formas de realización de la presente invención proporciona una ventaja significativa sobre la técnica anterior, especialmente cuando se observan superficies no planas tales como tuberías o tubos verticales.

10 Por lo tanto, la iluminación pasiva y activa es compatible con el sistema preferido de la presente invención, con un cambio en el modo de funcionamiento seleccionable mediante la energización (o no) de la fuente local activa, de gran ángulo incoherente.

FIG. 7 muestra una forma de realización para una fuente activa del sistema de detección CUI de la FIG. 6.

15 En la FIG. 7, la cámara/detector 32 está situada detrás de una abertura formada en un elemento calentador extendido 70 acoplado a una fuente de alimentación 72. El calentador está situado en la parte trasera de una carcasa 74 que tiene una abertura 76 a través de la cual pueden propagarse las emisiones desde la superficie 77 del calentador. Al menos una boca de alimentación, y típicamente múltiples bocas de alimentación 78, 80, se mantienen en una disposición que espacia físicamente la(s) bocina(s) de alimentación de la superficie del calentador. Cada bocina de alimentación 78, 80 está
20 acoplada a una fuente de ruido 82 que proporciona señales que tienen longitudes de onda milimétricas o 25 submilimétricas o frecuencias bajas de terahercios. Por lo tanto, la radiación electromagnética que emana de las bocinas de alimentación 78, 80 se dirige a la superficie 77 del calentador y se refleja aleatoriamente desde esa superficie en la dirección de la abertura 76 y, por lo tanto, hacia la muestra, tal como un tubo 12, bajo investigación. Por lo tanto, el calentador 70 proporciona energía al entorno de ruido activo y aleatorio creado a partir de las bocinas de alimentación 78, 80 dentro de la carcasa 74. Como configuración alternativa, la fuente de ruido podría ubicarse detrás del elemento calentador 70 de manera que señales de prueba en longitudes de onda milimétricas, submilimétricas o micrométricas se disparen a través del elemento calentador.

30 FIG. 8 es una representación de una ruta de transmisión óptica en un receptor preferido de un sistema de evaluación de la corrosión. FIG. 8 ilustra una muestra bajo investigación, muestra que incluye un sustrato 100 y una capa aislante o protectora 16, tal como revestimiento o pintura. El sustrato 100 incluye áreas 104 de metal prístino o compuesto metálico y puntos de corrosión o defectos estructurales 14. Una onda electromagnética entrante 102 en longitudes de onda milimétricas o submilimétricas (o frecuencia de terahercios por debajo de aproximadamente 30 THz) se refleja desde el sustrato, con estos reflejos 106, 108 reflejados desde un espejo y preferiblemente un espejo de escaneo controlado por
35 motor 110. El motor opcional y el accionamiento asociado 112, acoplados a cualquier espejo de exploración 110, proporcionan control de inclinación y cabeceo. Los espejos de colimación complementarios 114 redirigen las ondas electromagnéticas reflejadas 116 desde el espejo de escaneo (o su equivalente estacionario) y actúan para enfocar las ondas electromagnéticas reflejadas 116 hacia sensores, tales como un termopar 120 y un detector de longitud de onda milimétrica o submilimétrica (o frecuencia de terahercios) apropiada 122. La disposición de la FIG. 8, por lo tanto, permite
40 realizar simultáneamente múltiples evaluaciones de características de una muestra bajo investigación. Por ejemplo, se puede obtener una mayor confianza en la identificación de CUI o CUP mediante el análisis de bandas complementarias, como un pico infrarrojo que identifica un punto caliente en un sustrato y donde la misma área que tiene el punto caliente muestra una variación en la resistividad lejos de un valor esperado o perfil espectral. Alternativamente, algunos recubrimientos también son parcialmente transparentes en la región infrarroja del espectro electromagnético y, por lo tanto, las características anómalas observadas en el infrarrojo que podrían deberse a la estructura de la superficie o a variaciones en el espesor y no a la corrosión podrían atribuirse directamente a la corrosión si también están presentes en las bandas de la longitud de onda milimétrica, submilimétrica y frecuencia de terahercios, aumentando la confianza.

50 Desde una perspectiva práctica, un radiocomunicador que utilice un generador heterodino o un amplificador de bajo ruido puede ser la base de un dispositivo de detección en el espectro de gigahercios. A frecuencias más altas, se podría utilizar un láser de cascada cuántica como fuente de ruido, y la detección (o captación) se logra utilizando un detector de pozo cuántico y/o un detector Schottky. Se conocen dispositivos de detección capaces de trabajar en el espectro de longitudes de onda de terahercios a múltiples terahercios, como se describe en el artículo: "CMOS DETECTORS: Terahertz imaging achieved with low-cost CMOS detectors" en Laser Focus World (<http://www.laserfocusworld.com/articles/2011/07/cmos-detectors-terahertz-imaging-achieved-with-low-cost-cmos-detectors.html>).
55

FIG. 9 ilustra el origen de los componentes radiométricos que contribuyen en una señal vista por el sistema de evaluación de la corrosión de, por ejemplo, la FIG. 6. Al observar un objeto, como el sustrato de una tubería, un radiómetro pasivo de onda milimétrica, de onda submilimétrica o de frecuencia de terahercios no puede distinguir la temperatura física real de ese objeto. Sólo puede determinar la temperatura efectiva (" T_{eff} ") del objeto. FIG. 9 muestra la relación entre:
60

- i) el T_{eff} medido;
- ii) la temperatura física del objeto T_o ;
- iii) la temperatura del ambiente T_e ;
- 65 iv) la temperatura del fondo detrás de los objetos T_b ;
- v) la transmisividad t del objeto;

- vi) la emisividad del objeto ϵ ; y
- vii) la reflectividad del objeto ρ .

La temperatura efectiva T_{eff} se expresa matemáticamente como:

$$T_{\text{eff}} = \epsilon T_o + \rho T_e + tT_b$$

El sensor (con el detector 32) de las diversas formas de realización está dispuesto para medir directamente T_{eff} y, así, siempre que la temperatura física del entorno, el objeto o el fondo no varíe o esté monitoreado por separado, cualquier variación en T_{eff} indicará un cambio en la reflectividad o emisividad de los sustratos o cualquier transmisividad de las capas intermedias. Cualquiera o todos estos parámetros (solos o preferiblemente en una combinación de al menos dos) se pueden usar para indicar la presencia de un defecto en la capa de cobertura o corrosión superficial del metal subyacente. De hecho, estos parámetros medibles se pueden monitorear de forma remota sin necesidad de alinear cuidadosamente los instrumentos, mientras que cualquier elevación de la temperatura del sustrato en comparación con el entorno o el fondo puede mejorar el contraste debido a la presencia de una señal aumentada. De manera similar, para los materiales compuestos, la estructura interna se puede investigar mirando a través de la muestra un objetivo ubicado en el fondo que se mantiene a una temperatura elevada o baja.

FIGs. 10 y 11 muestran un sistema de detección de corrosión de una forma de realización de la invención que hace uso de la emisividad para evaluar la presencia de corrosión debajo de una capa.

En la FIG. 9, un tubo 12 actúa como conducto para fluido caliente o líquido caliente 80. El tubo 12 está encerrado en un aislamiento 16 y éste, a su vez, se mantiene en su lugar mediante una cubierta metálica 18. La cubierta metálica es opaca y, por lo tanto, impermeable a la inspección directa con señales de prueba milimétricas o submilimétricas de micras (independientemente de si provienen de una fuente pasiva o activa). Sin embargo, la cubierta metálica se puede abrir para permitir que el detector evalúe la emisividad de la superficie de la tubería en condiciones de transferencia de frío y calor. La cubierta metálica actúa para reflejar ondas electromagnéticas 81 (en el rango milimétrico, submilimétrico de micras) hacia un cono receptor 82 del receptor/detector. Dado que la emisividad aumenta, el ancho relativo de las flechas en la FIG. 9 refleja la magnitud relativa: con presencia de corrosión, se observa un pico de voltaje 86 en una salida 88 del detector (cuando se representa con respecto a la posición del detector con respecto a la longitud de la tubería 12) cuando tales anomalías estructurales, por ejemplo, corrosión superficial, están presentes. La posición circunferencial precisa de cualquier anomalía superficial no puede resolverse ya que los reflejos de las superficies internas de la cubierta metálica 18 no pueden resolverse individualmente desde la perspectiva de sus puntos de origen individuales. Sin embargo, al hacer funcionar el detector a lo largo del tubo (como se representa en la FIG.10), las variaciones en la emisividad se revelan en un gráfico de parámetros adecuado frente a la posición.

A menos que el contexto requiera una interpretación más limitada, los términos CIC, CUC y CUI deben considerarse idénticos en el sentido de que cada uno contiene un sustrato cubierto por una capa o revestimiento protector. Generalmente, como se entenderá, la forma de dicha capa o la forma de su aplicación al sustrato no es determinista con respecto al funcionamiento del sistema de detección de corrosión o anomalías de las diversas formas de realización de la presente invención.

Por supuesto, se apreciará que la descripción anterior se ha dado sólo a modo de ejemplo y que se pueden realizar modificaciones en detalle dentro del alcance de la presente invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

En el contexto de esta descripción, se entenderá que el término "sustrato" se refiere a cualquier sustrato que refleje ondas electromagnéticas milimétricas, submilimétricas de terahercios a un nivel adecuado para la detección mediante una cámara, teniendo en cuenta el término "sustrato" superficies generalmente tanto planas como curvas. Los términos "corrosión", "anomalías" y "anormalidad" se entenderán intercambiables e incluyen defectos de fabricación o cambios en la estructura que hayan sido provocados por la erosión o la corrosión, considerándose cada uno de estos términos de manera amplia a menos que el contexto específico requiera una interpretación más limitada. Por lo tanto, las anomalías estructurales pueden estar relacionadas con imperfecciones (incluidas grietas y fracturas, penetraciones, variaciones de porosidad, corrosión, disolución y delaminación) en o sobre sustratos ubicados entre pintura y/u otras formas de aislamiento o recubrimiento.

El sistema de imágenes de las diversas formas de realización generalmente se basa en un procesador en el sentido de que los datos se procesan para su presentación al operador mediante una visualización audible o visual. Se entenderá que el sistema de imágenes podría, sin embargo, simplemente proporcionar una salida óptica (sin procesamiento de datos), cuya disposición requeriría entonces la interpretación del operador aunque el sistema de imágenes responda al funcionamiento de un microcontrolador o similar.

Por lo tanto, la presente invención admite pruebas en campo de redes de tuberías para mantenimiento preventivo, pero igualmente el sistema de detección se puede emplear como proceso de control de calidad final en una instalación de fabricación.

REIVINDICACIONES

1. Un método para detectar la presencia de anomalías (14) en o sobre un sustrato (34) cubierto por una capa o revestimiento protector, comprendiendo el método:
- 5 observar la reflectividad del sustrato que surge de las ondas electromagnéticas incidentes (35) producidas por la iluminación de gran ángulo desde una fuente pasiva incoherente (30), en donde las observaciones de reflectividad se dirigen dentro de al menos uno de los rangos de frecuencia de:
- 10 entre aproximadamente 30 GHz y aproximadamente 60 GHz;
entre aproximadamente 65 GHz y aproximadamente 100 GHz;
entre aproximadamente 120 GHz y aproximadamente 157 GHz;
entre aproximadamente 160 GHz y aproximadamente 181 GHz;
entre aproximadamente 185 GHz y aproximadamente 270 GHz; y
entre aproximadamente 320 GHz y aproximadamente 360 GHz;
- 15 identificar la presencia de anomalías en el sustrato mediante al menos uno de:
- 20 contrastar la reflectividad observada en áreas adyacentes del sustrato; y
contrastar la reflectividad observada de un área del sustrato bajo prueba con un valor de reflectividad de referencia anticipado para el área del sustrato bajo prueba.
2. El método de la reivindicación 1, en el que el método comprende además:
- 25 observar la reflectividad del sustrato que surge de las ondas electromagnéticas incidentes producidas por la iluminación de gran ángulo de una fuente incoherente activa (40), teniendo las ondas electromagnéticas incidentes de la fuente incoherente activa longitudes de onda milimétricas o submilimétricas o con una frecuencia inferior a unos treinta terahercios;
identificar la presencia de anomalías en el sustrato contrastando los perfiles de reflectividad espectral observados desde la fuente pasiva incoherente y la fuente activa incoherente.
- 30 3. El método de la reivindicación 2, que comprende además:
- 35 evaluar la integridad estructural de una capa o revestimiento que cubre el sustrato mediante la evaluación de la transmisividad a través de la capa o revestimiento, contrastando la evaluación los perfiles de reflectividad espectral observados usando la fuente incoherente pasiva y la fuente incoherente activa; y generar una salida en el caso de que un cambio en la transmisividad inferido del contraste entre los perfiles de reflectividad espectral observados de la fuente pasiva incoherente y la fuente activa incoherente exceda un umbral.
4. El método de la reivindicación 2, que comprende además:
- 40 determinar la emisividad del sustrato a dos temperaturas diferentes para evaluar si se ha producido un cambio en la emisividad entre las dos temperaturas diferentes; y
generar una salida en el caso de que el cambio en la emisividad exceda un umbral predeterminado, indicando la salida la presencia de una anomalía en o sobre el sustrato.
- 45 5. El método de la reivindicación 4, en el que la fuente pasiva incoherente está a una diferencia de temperatura con respecto al sustrato, siendo la diferencia de temperatura de al menos cien Kelvin.
6. Un sistema de detección para identificar anomalías estructurales (14) en un sustrato (34) cubierto por una capa o revestimiento, comprendiendo el sistema de detección:
- 50 un sistema de imágenes (32) que incluye un detector configurado para recibir y detectar la reflectividad de un sustrato bajo prueba, dicho reflectividad que surge de la iluminación del sustrato mediante una fuente pasiva incoherente de ondas electromagnéticas (30) de gran ángulo, en donde la reflectividad detectada se detecta dentro de al menos uno de los rangos de frecuencia de:
- 55 entre aproximadamente 30 GHz y aproximadamente 60 GHz;
entre aproximadamente 65 GHz y aproximadamente 100 GHz;
entre aproximadamente 120 GHz y aproximadamente 157 GHz;
entre aproximadamente 160 GHz y aproximadamente 181 GHz;
entre aproximadamente 185 GHz y aproximadamente 270 GHz; y
entre aproximadamente 320 GHz y aproximadamente 360 GHz; y
un sistema de evaluación basado en procesador que responde al sistema de imágenes, el sistema de evaluación basado en procesador configurado para presentar una indicación de una diferencia en la reflectividad detectada entre al menos una de:
- 60
65

reflectividad evaluada desde una pluralidad de áreas diferentes del sustrato, por lo que la diferencia en reflectividad indica una anomalía; y la reflectividad observada de un área del sustrato bajo prueba frente a un valor de reflectividad de referencia anticipado para el área del sustrato bajo prueba, por lo que la diferencia en la reflectividad observada con respecto a la reflectividad de referencia indica una anomalía.

5

7. El sistema de detección según la reivindicación 6, que comprende además:

10

una fuente incoherente activa (40) para proporcionar iluminación de gran ángulo del sustrato bajo investigación, generando la fuente incoherente activa al menos una de (i) longitudes de onda milimétricas, (ii) longitudes de onda submilimétricas y (iii) longitudes de onda de micras que tienen una frecuencia inferior a aproximadamente treinta terahercios.

15

8. El sistema de detección según la reivindicación 7, en el que el sistema de evaluación basado en procesador está configurado para:

20

contrastar los niveles de reflectividad del sustrato producidos por dicha fuente activa incoherente y dicha fuente pasiva incoherente de gran ángulo; y generar una indicación de la presencia de una anomalía en el sustrato en el caso de que el contraste de la reflectividad evaluada bajo las fuentes incoherentes activa y pasiva produzca una diferencia que supere un umbral predeterminado.

25

9. El sistema de detección según la reivindicación 8, en el que el sistema de evaluación basado en procesador está configurado además para proporcionar una indicación de confianza en la integridad estructural de una capa o recubrimiento que cubre el sustrato bajo prueba, la indicación se basa en la evaluación de la transmisividad a través de la capa o revestimiento, contrastando la evaluación los perfiles de reflectividad espectral observados utilizando la fuente incoherente pasiva y la fuente incoherente activa.

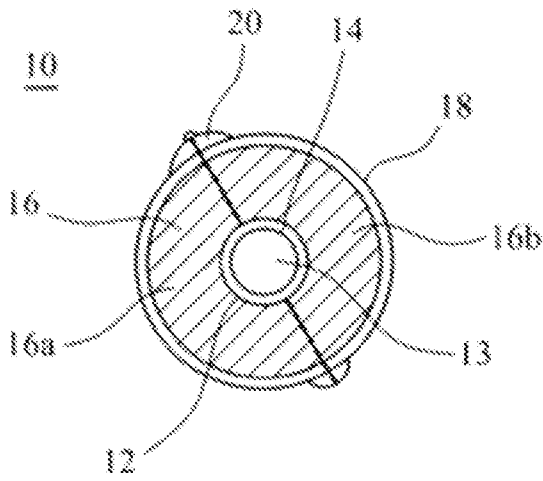


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

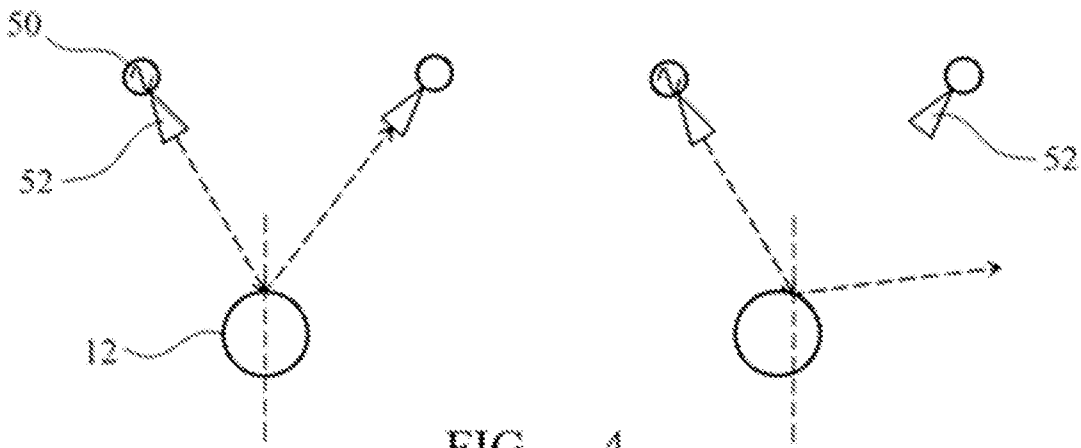


FIG. 4

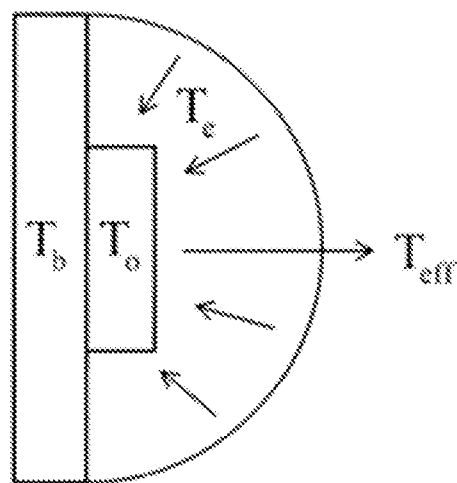


FIG. 9

$$T_{\text{eff}} = \epsilon x T_o + \rho T_e + t x T_b$$

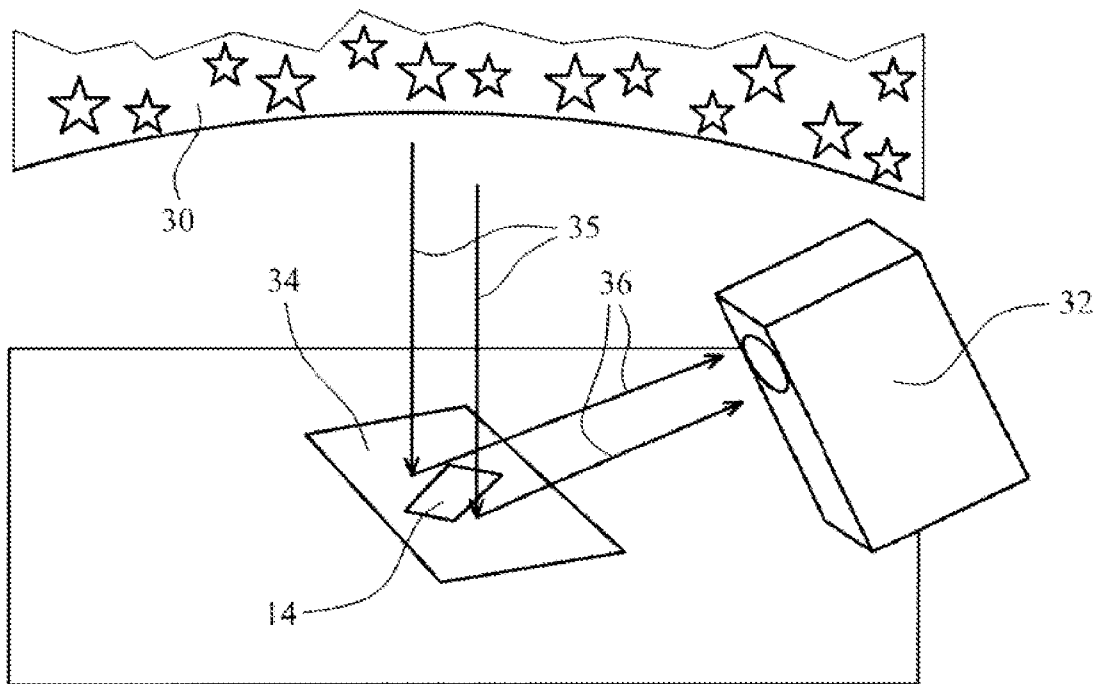


FIG. 2

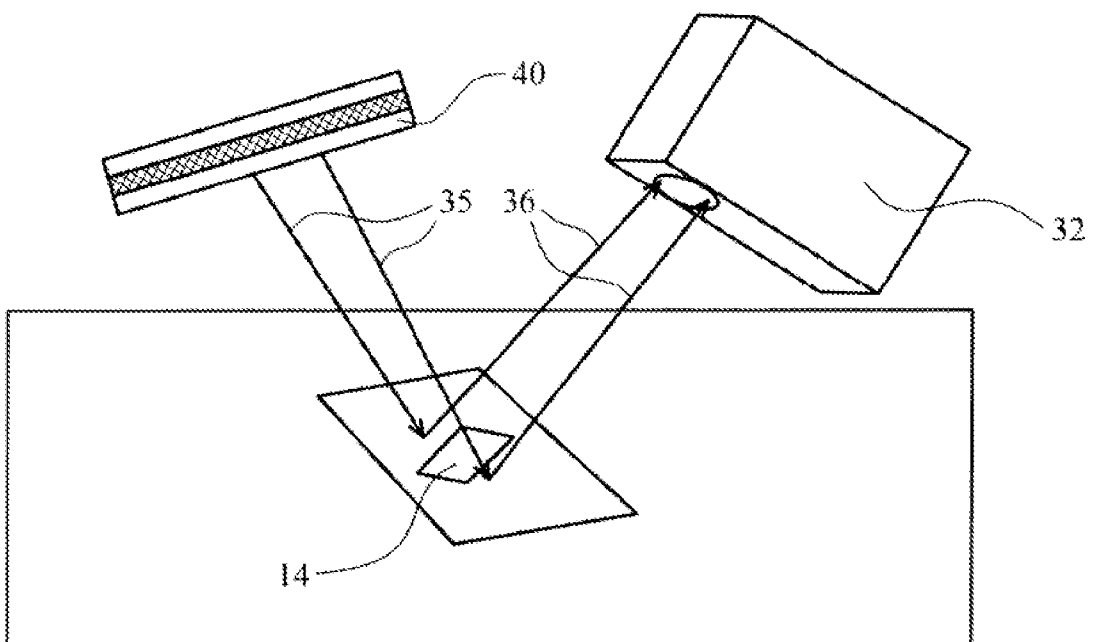
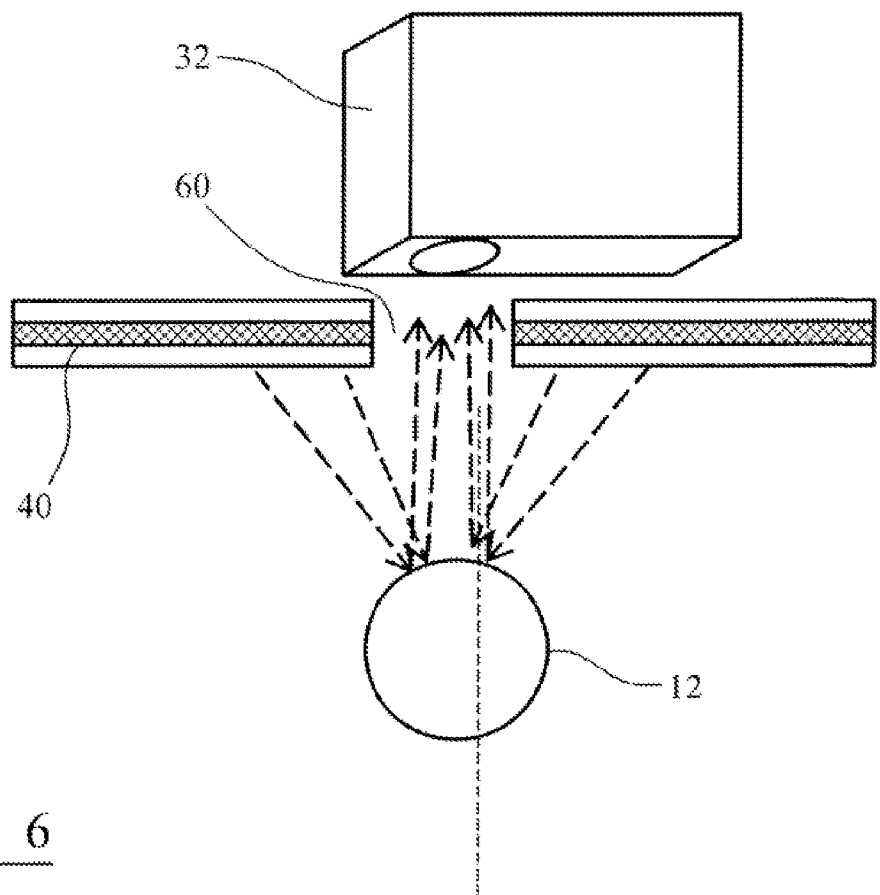
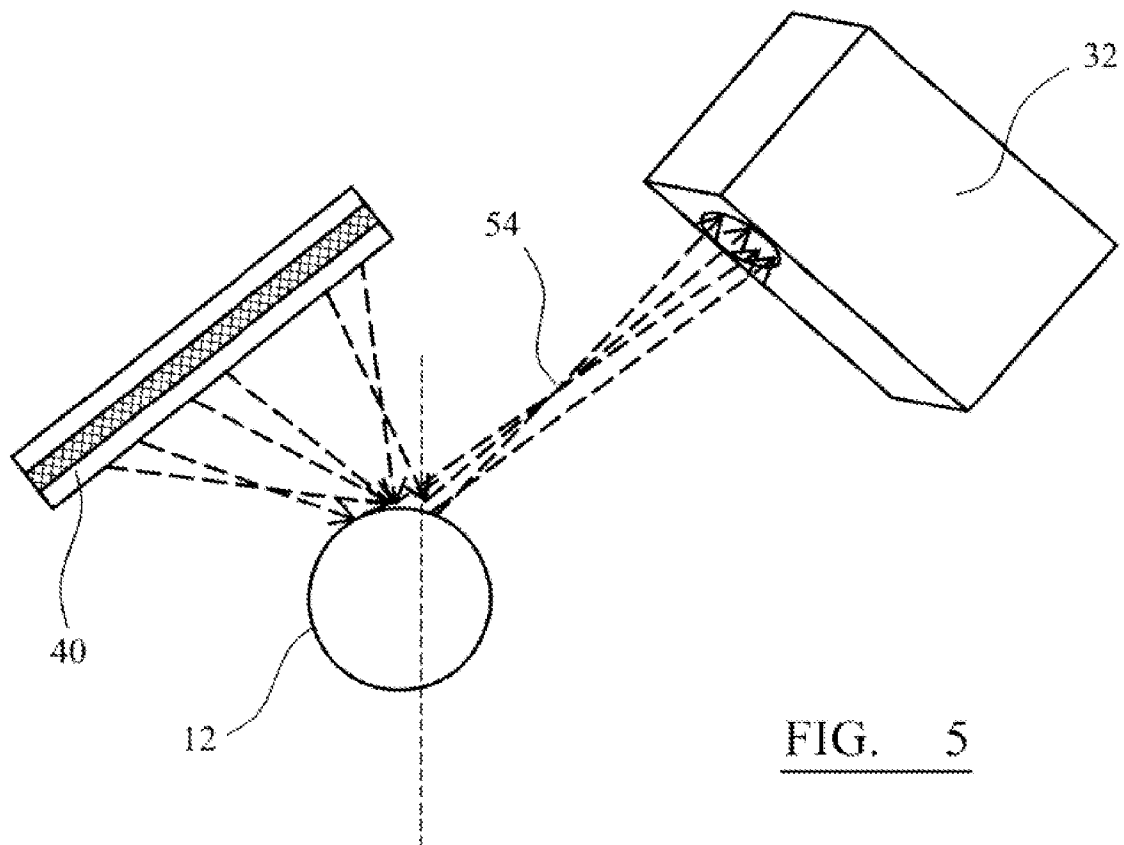


FIG. 3



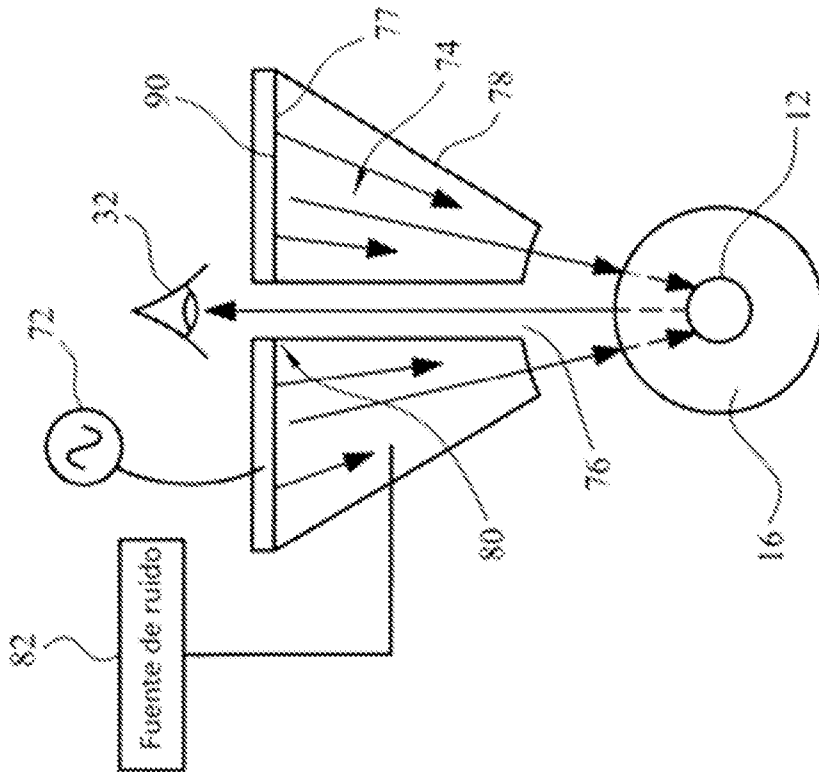


FIG. 7

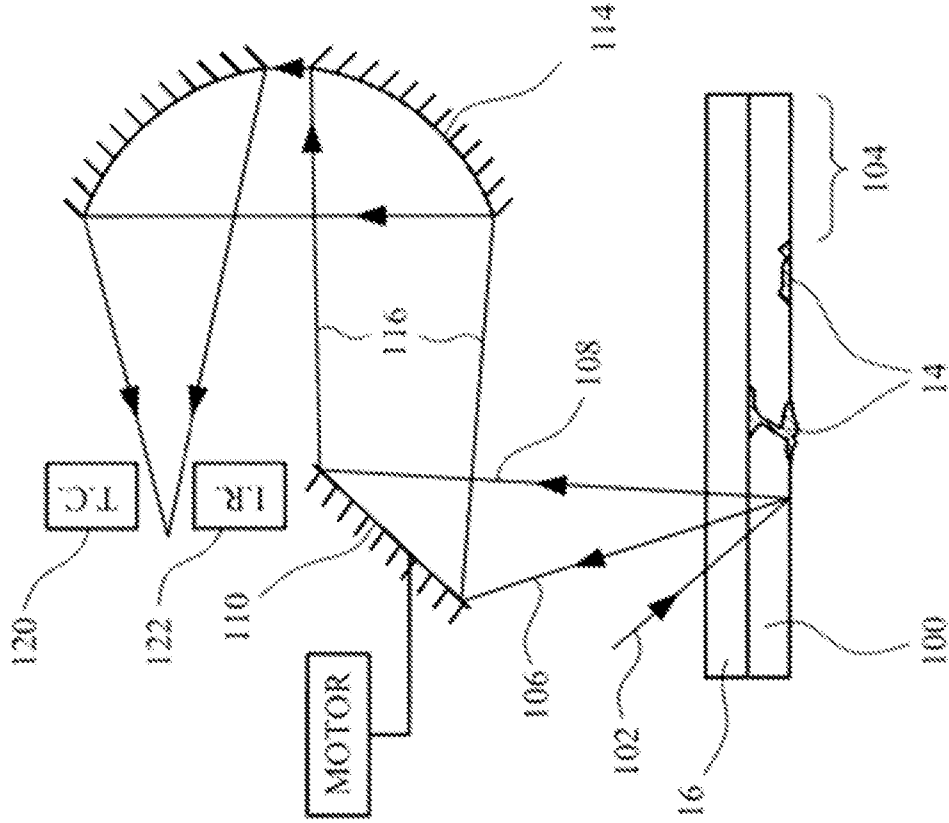


FIG. 8

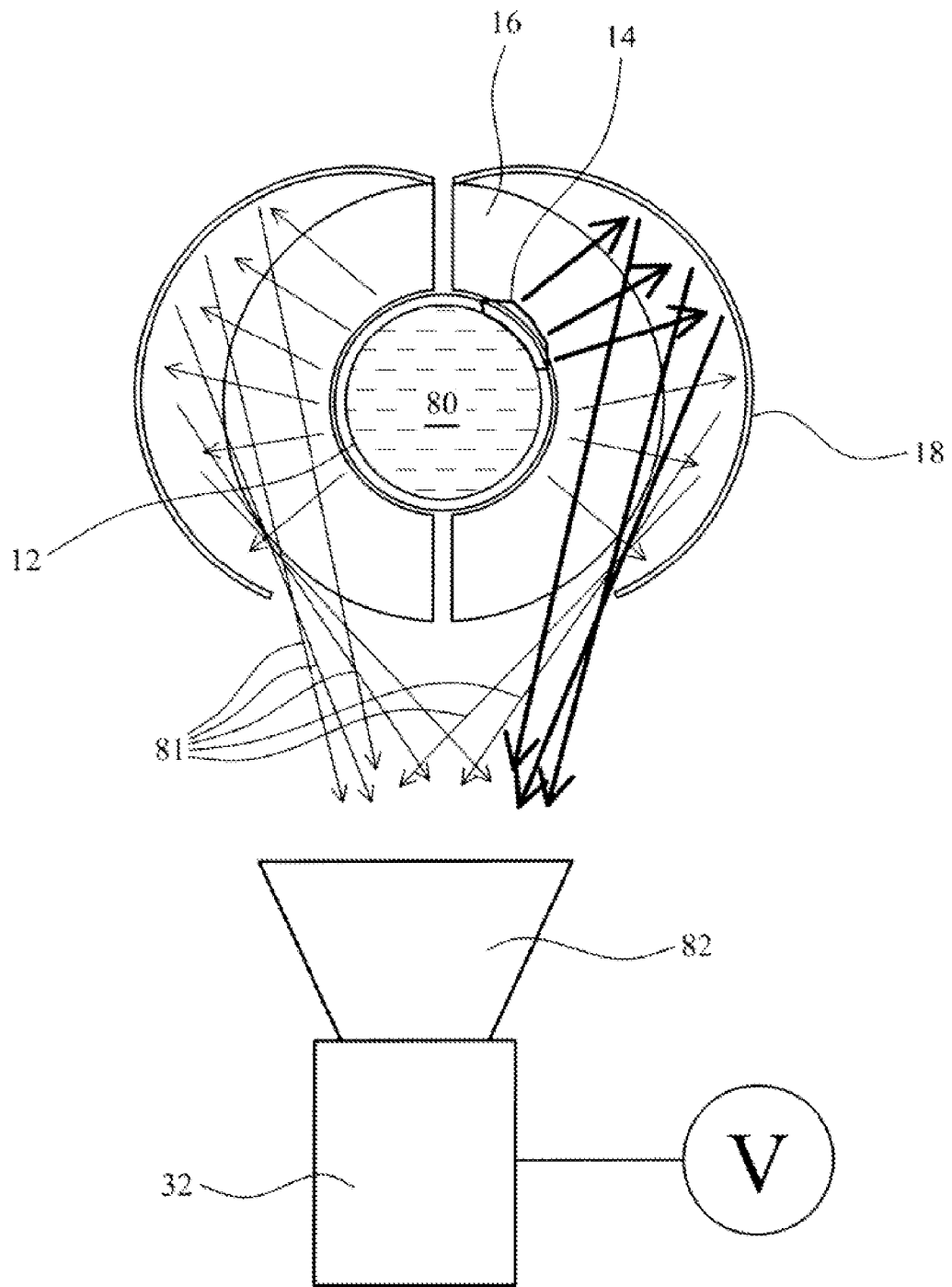


FIG. 10

FIG. 11

