

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 940 671**

51 Int. Cl.:

G01N 21/3586 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.10.2018** **PCT/EP2018/078039**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.04.2019** **WO19073074**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2018** **E 18788738 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.01.2023** **EP 3695210**

54 Título: **Método y aparato para detectar un haz de THz pulsado con corrección de tiempo de vuelo**

30 Prioridad:

13.10.2017 EP 17196406

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

10.05.2023

73 Titular/es:

ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Bruggerstrasse 66
5400 Baden, CH

72 Inventor/es:

MAAS, DERAN;
RADISAVLJEVIC, BRANIMIR;
PORUS, MARIYA y
VAN MECHELEN, JACOBUS LODEVICUS
MARTINUS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 940 671 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para detectar un haz de THz pulsado con corrección de tiempo de vuelo

Algunos aspectos de la invención se refieren a un método para detectar un haz de THz pulsado, en donde una radiación de THz es emitida por un emisor de THz, se desplaza a un cuerpo objetivo que se va a inspeccionar, interacciona con el cuerpo objetivo, se desplaza a un detector de THz y es detectada por el detector de THz en el dominio del tiempo, por ejemplo, para la inspección de materiales. Otros aspectos de la invención se refieren a un método de recubrimiento para recubrir un cuerpo, y a un aparato y a una instalación de recubrimiento correspondientes.

Antecedentes de la técnica:

Se han propuesto métodos basándose en la radiación de THz para diversos fines, tales como aplicaciones de control de calidad y de pruebas de materiales. Por ejemplo, los documentos JP 2004028618 A y EP 2213977 A1 describen métodos respectivos para determinar el espesor de una película de pintura usando una radiación de THz.

En particular, la espectroscopia en el dominio del tiempo de THz es prometedora para un control de calidad temprano y automatizado de recubrimientos, por ejemplo, películas de pintura de carrocerías o cuerpos de coche pintados durante la producción, de una forma sin contacto. Por ejemplo, el documento EP 2899499 A1 describe un sistema de sensores para caracterizar un recubrimiento por radiación de THz. El sistema tiene un emisor de THz que dirige una radiación de THz saliente hacia un cuerpo recubierto (cuerpo objetivo), y un detector de THz para detectar la radiación de THz entrante que ha interactuado con el cuerpo recubierto. El sistema es capaz de caracterizar el recubrimiento analizando el cambio de la forma de onda de radiación de THz entrante a la forma de onda de radiación de THz saliente.

Para este fin, es crucial determinar la forma de onda de la radiación de THz entrante con una precisión alta. Esto se logra habitualmente mediante la siguiente organización: el emisor de THz emite la radiación de THz saliente como un pulso de señal de THz corto de una forma repetida, y el detector de THz tiene una antena conmutable que se puede activar en escalas de tiempo que son lo bastante cortas como para determinar detalles del pulso de señal de THz entrante.

Por ejemplo, para detectar pulsos de THz con una resolución por debajo de un picosegundo, hay disponibles antenas de dipolo fotoconductoras de escala micrométrica con una vida útil de portadora muy corta de 1 ps o menos. Las antenas pueden ser activadas por un pulso de láser ultracorto. El tiempo de recombinación corto del semiconductor hace que la resistencia de separación cambie de casi aislante a conductora (cerrando el conmutador) tras la irradiación, y entonces de vuelta a aislante (abriendo el conmutador) en una escala de tiempo de picosegundos. Por lo tanto, cada activación es análoga a cerrar un conmutador, lo que permite que la separación de antena conduzca durante un instante por debajo de un picosegundo y permite medir el campo eléctrico (correspondiente a un lugar geométrico de la forma de onda) en ese instante. La medición se repite muchas veces mientras se varía un tiempo de retardo para la activación de la antena conmutable del detector de THz. Las mediciones repetidas permiten entonces la reconstrucción de la forma de onda del pulso de señal de THz entrante.

La estrategia de medición anterior se ilustra en las figuras 4a y 4b. La figura 4a muestra la forma de onda (componente de campo eléctrico detectable como una función del tiempo) del pulso de señal de THz entrante. La forma de onda 66 se recibe periódicamente en el detector de THz; y para cada repetición del pulso de THz, la antena del detector de THz se activa en un desfase de tiempo diferente t_1 , ..., t_6 , y mide la forma de onda en ese desfase de tiempo, como es indicado por los círculos pequeños encima de la forma de onda 66. Por razones de sencillez de explicación, se supone que la conmutación de la antena del detector de THz es instantánea, con una resolución temporal infinitesimalmente pequeña.

En realidad, la conmutación se prolongará a lo largo de un cierto lapso de tiempo. El análisis simplificado de la conmutación instantánea es meramente por razones de facilidad de entendimiento. Los detectores de THz que tienen otras características de conmutación se pueden analizar de forma análoga por convolución inversa, como se describe, por ejemplo, en el documento de R. Alan Cheville, "Terahertz Time-Domain Spectroscopy with Photoconductive Antennas" (Espectroscopia en el dominio del tiempo de terahercios con antenas fotoconductoras), en: el documento de Susan L. Dexheimer, *Terahertz Spectroscopy* (Espectroscopia de terahercios), Boca Ratón, 2008. La invención abarca detectores de THz con cualquier característica de conmutación.

En la figura 4a, cada activación del detector de THz (cada círculo en la figura 4a) pertenece a uno diferente de los pulsos recibidos repetidamente. En el ejemplo mostrado en las figuras 4a y 4b, las seis mediciones en los desfases de tiempo t_1 , ..., t_6 , se pueden obtener a partir de seis pulsos de THz subsiguientes. Estas seis mediciones, junto con los desfases de tiempo conocidos, proyectar la forma de onda de THz en el tiempo y permitir la reconstrucción de la forma de onda de pulso de señal de THz entrante, como se muestra en la figura 4b. El análisis anterior se simplifica y, en realidad, se realizan muchas más de seis mediciones, prolongándose cada una a lo largo de un cierto lapso de tiempo, como se analiza con más detalle a continuación.

Los desfases de tiempo $t_1, \dots, t_6$ se pueden obtener, por ejemplo, retardando un pulso de láser que activa el detector de THz con respecto a un pulso de láser que desencadena el pulso de THz, en donde ambos pulsos de láser pueden tener su origen en el mismo láser pulsado con una fase de retardo sintonizable en la trayectoria óptica hacia el detector, o en dos láseres pulsados cuyas tasas de pulso están ligeramente desintonizadas una en relación con otra, tal como en organizaciones de muestreo óptico asíncrono (ASOPS) y de muestreo óptico controlado electrónicamente (ECOPS). Se describen detalles adicionales de organizaciones de medición, por ejemplo, en el documento de R. Alan Cheville, citado anteriormente.

En muchas aplicaciones del mundo real, ha resultado que la señal de THz medida tiene una precisión y una reproducibilidad limitadas. Sin embargo, las aplicaciones de control de calidad y de pruebas de materiales se basan en detalles minúsculos de la señal de THz y, por lo tanto, requieren una precisión muy alta. Un objeto de la presente invención es mejorar la precisión y la reproducibilidad de las mediciones de THz en aplicaciones del mundo real.

La publicación EP 2 085 765 A1 describe un aparato de inspección que incluye una porción de detección de ondas de terahercios, una porción de conformación de formas de onda configurada para conformar una primera señal de respuesta con respecto a una onda de terahercios usando una señal adquirida en la porción de detección de ondas de terahercios, una porción de adquisición de condiciones de medición configurada para adquirir una primera condición de medición, una porción de almacenamiento de señales de respuesta configurada para almacenar segundas señales de respuesta correspondientes a condiciones de medición, una porción de selección configurada para seleccionar la segunda señal de respuesta de entre la porción de almacenamiento de señales de respuesta, y una porción de procesamiento de señales configurada para realizar una desconvolución con respecto a la primera señal de respuesta en función de la segunda señal de respuesta.

La publicación US 2017/023469 A1 describe un sistema para determinar al menos una propiedad de una muestra de dieléctrico laminar usando radiación de terahercios que incluye al menos un transmisor de terahercios configurado para emitir un pulso de radiación de terahercios, un receptor de terahercios configurado para recibir al menos una porción del pulso de radiación de terahercios, en donde el receptor de terahercios está configurado para emitir una forma de onda medida basándose en la radiación de terahercios recibida por el receptor de terahercios, y una unidad de control en comunicación con el receptor de terahercios. La unidad de control está configurada para elegir al menos una región de interés de la forma de onda medida, comparar la al menos una región de interés de la forma de onda medida con una forma de onda modelo, variar al menos un parámetro de una forma de onda modelo para minimizar la diferencia entre la forma de onda modelo y la forma de onda medida.

Sumario de la invención:

En vista de lo anterior, de acuerdo con un aspecto de la invención, se proporcionan un método para detectar un haz de THz pulsado y un aparato para detectar un haz de THz pulsado de acuerdo con las reivindicaciones independientes. A continuación, y en las reivindicaciones dependientes, se describen aspectos y detalles adicionales.

De acuerdo con un aspecto de la invención, el método para detectar un haz de THz pulsado comprende: emitir, mediante un emisor de THz, una radiación de THz que comprende una serie temporal de pulsos de THz que tienen una forma de pulso saliente, de tal modo que la radiación de THz se desplaza a lo largo de una primera trayectoria desde el emisor de THz a un cuerpo objetivo que se va a inspeccionar, interacciona con el cuerpo objetivo y se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria desde el cuerpo objetivo a un detector de THz; detectar, mediante el detector de THz, la radiación de THz entrante que es una serie temporal de pulsos de THz entrantes, y emitir, mediante el detector de THz, unos datos de detector sin procesar que son una serie temporal de datos en relación con una forma de pulso entrante de los pulsos de THz entrantes; y determinar, mediante un módulo de reconstrucción de formas de pulso, una forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante basándose en los datos de detector sin procesar.

El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones de aparato se puede adaptar al método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones de método. A la inversa, el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones de método puede ser llevado a cabo por el aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones de aparato.

Los inventores de la presente invención han descubierto que una fuente de errores que limitan la precisión y la reproducibilidad son las perturbaciones que tienen lugar en el contexto de un entorno industrial. Como consecuencia, la distancia (más precisamente, el tiempo de vuelo) a lo largo de la primera trayectoria (desde el emisor de THz al cuerpo objetivo) y/o a lo largo de la segunda trayectoria (desde el cuerpo objetivo al detector de THz) no es constante durante la medición sino que tiene variaciones. Estas perturbaciones pueden ser causadas, por ejemplo, por vibraciones del emisor de THz, el receptor de THz y/o el cuerpo objetivo. Las perturbaciones también pueden ser causadas por un cambio de humedad del aire ambiente, dado que esto disminuye la velocidad de la luz. En un entorno industrial, es difícil disminuir o eliminar estas perturbaciones.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un sensor que mide una cantidad de tiempo de vuelo que

afecta al tiempo de vuelo de la radiación de THz a lo largo de al menos una de la primera trayectoria y la segunda trayectoria. La cantidad de tiempo de vuelo se mide de una forma dependiente del tiempo mientras la radiación de THz es emitida por el emisor de THz. Usando esta cantidad de tiempo de vuelo, el funcionamiento de al menos uno del emisor de THz, el detector de THz y el módulo de reconstrucción de formas de pulso se puede ajustar entonces para corregir una variación en el tiempo de vuelo de la radiación de THz. En el presente caso, no es necesario que la cantidad de tiempo de vuelo sea la señal medida directamente por el sensor, sino que puede ser una cantidad derivada, obtenida a partir de la señal medida por el sensor.

Por lo tanto, las realizaciones de la invención abren vías para medir de forma precisa y fiable la radiación de THz incluso en un entorno industrial en presencia de perturbaciones. Ejemplos de perturbaciones son vibraciones, otro movimiento y otras variaciones en el entorno que tienen influencia sobre el tiempo de vuelo de la radiación de THz.

Las mediciones de THz más precisas y fiables habilitan una caracterización más precisa y fiable del cuerpo objetivo. Por lo tanto, por ejemplo, se habilita un control de calidad más preciso y fiable.

Ventajas, características, aspectos y detalles adicionales que se pueden combinar con realizaciones descritas en el presente documento son evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos.

Breve descripción de las figuras:

Los detalles se describirán en lo sucesivo con referencia a las figuras, en donde

- la figura 1 es una vista esquemática que ilustra el funcionamiento de un aparato de detección de acuerdo con una realización de la invención;
- la figura 2 es una vista esquemática que ilustra el funcionamiento de un aparato de detección de acuerdo con una realización adicional de la invención;
- la figura 3 es una vista esquemática de un aparato de detección de acuerdo con una realización de la invención;
- las figuras 4a, 4b son diagramas que ilustran un método para reconstruir la forma de pulso de la radiación de THz medida en el dominio del tiempo conocido en la técnica;
- las figuras 5a, 5b son diagramas que ilustran las deficiencias del método para las figuras 4a, 5b en presencia de perturbaciones;
- las figuras 6a, 6b son diagramas que ilustran un método para reconstruir la forma de pulso de la radiación de THz medida en el dominio del tiempo de acuerdo con una realización de la invención;
- las figuras 7a, 7b son diagramas que ilustran un método para reconstruir la forma de pulso de la radiación de THz medida en el dominio del tiempo de acuerdo con una realización adicional de la invención;
- la figura 8a es un diagrama que muestra una forma de pulso de THz reconstruida obtenida a partir de un objeto vibrante mediante el método conocido en la técnica;
- la figura 8b es un diagrama que muestra la amplitud de vibración del objeto vibrante;
- la figura 8c es un diagrama que muestra una forma de pulso de THz reconstruida obtenida a partir de un objeto vibrante mediante el método de acuerdo con una realización de la invención;
- la figura 9 es un diagrama de bloques que ilustra un método para caracterizar un cuerpo recubierto usado en una realización de la invención; y
- la figura 10 es una vista esquemática de una instalación de pintura de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada de las figuras y de realizaciones:

A continuación se hará referencia con detalle a las diversas realizaciones, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en cada figura. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación y no pretende ser una limitación. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una realización se pueden usar en o junto con cualquier otra realización para producir una realización adicional más. Se pretende que la presente divulgación incluya tales modificaciones y variaciones.

Dentro de la siguiente descripción de los dibujos, los mismos números de referencia se refieren a los mismos componentes o a unos similares. En general, solo se describen las diferencias con respecto a las realizaciones individuales. A menos que se especifique lo contrario, la descripción de una parte o aspecto en una realización también es aplicable a una parte o aspecto correspondiente en otra realización.

Con referencia a las figuras 1-3, a continuación se describen realizaciones del aparato de detección.

La figura 1 es una vista lateral esquemática que ilustra componentes básicos y el funcionamiento general de un aparato de detección 1 de acuerdo con una realización de la invención. El aparato de detección 1 tiene un cabezal de detección 4 con un emisor de THz 10 para emitir radiación de THz, un detector de THz 20 para detectar radiación de THz y un sensor 80. El cabezal de detección 4 acopla mecánicamente el emisor de THz 10, el detector de THz 20 y el sensor 80 mecánicamente entre sí.

El aparato de detección 1 tiene además una unidad de procesamiento 30 acoplada operativamente al emisor de THz 10, el detector de THz 20 y el sensor 80. En el presente documento, "acoplado operativamente" incluye una interfaz de la unidad de procesamiento acoplada al sistema respectivo, por ejemplo, al emisor de THz 10 y al detector de THz 20 para desencadenar la emisión de una radiación de THz y la activación del detector de THz (como se ha descrito anteriormente con respecto a la figura 4a), respectivamente, con unas temporizaciones predeterminadas. La unidad de procesamiento 30 tiene además una interfaz con el detector de THz 20 y con el sensor 80 para recibir datos de medición (sin procesar) indicativos de la señal de respuesta y los datos de sensor, respectivamente.

La unidad de procesamiento 30 se muestra con más detalle en la figura 3. La unidad de procesamiento 30 se equipa con un procesador 32 y con una memoria en la que se almacena código de software que habilita que el procesador lleve a cabo cualquier método descrito en el presente documento. La unidad de procesamiento 30 tiene una unidad de control de detector/emisor 34 acoplada operativamente al emisor de THz 10 y al detector de THz 20 para generar una secuencia periódica de pulsos de THz por el detector de THz 20, y para activar el detector de THz en desfases de tiempo con respecto a los pulsos de THz generados, para detectar porciones de pulsos de THz entrantes (datos de detector sin procesar) en estos desfases de tiempo (por ejemplo, dirigiendo periódicamente pulsos de láser óptico al emisor de THz 10 y al detector de THz 20). La unidad de control de detector/emisor 34 adicionalmente se acopla operativamente al detector de THz 20 para recibir y procesar una señal de respuesta detectada que representa la radiación de THz detectada. La unidad de procesamiento 30 tiene además un módulo de reconstrucción de formas de pulso 36 acoplado operativamente al sensor 80 para recibir una cantidad de tiempo de vuelo (por ejemplo, una distancia d) y para sincronizar la cantidad de tiempo de vuelo con los datos de detector sin procesar, y para determinar una forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante basándose en los datos de detector sin procesar. A continuación se describe un funcionamiento adicional de la unidad de procesamiento 30 y de sus componentes.

En la figura 1 no se muestran detalles opcionales adicionales del emisor de THz 10 y el receptor de THz, tales como un sistema óptico de THz, tal como una(s) lente(s) y/o un(os) espejo(s).

Además, la figura 1 muestra un cuerpo recubierto (cuerpo objetivo) 2. El aparato de detección 1 se dispone de tal modo que el emisor de THz 10 y el detector de THz 20 están orientados hacia el cuerpo recubierto 2, con una separación de aire 42 entre el emisor y los detectores de THz 10, 20 en un lado y el cuerpo recubierto 2 en el otro lado.

En la realización de la figura 1, el cuerpo recubierto 2 tiene un sustrato 2a y un recubrimiento de pintura 2b, pero la invención no se limita a recubrimientos de pintura, sino que también se puede aplicar a cualquier otro recubrimiento.

Además, en la figura 1, el recubrimiento de pintura 2b tiene una capa. El recubrimiento de pintura 2b puede ser, como alternativa, una pila de pintura que tiene más de una capa, por ejemplo, dos o tres o cuatro capas. De acuerdo con un aspecto preferido, el método y sistema descrito está disponible para un recubrimiento de múltiples capas que tiene al menos dos capas.

El sensor 80 es un sensor de distancia para medir la distancia d al cuerpo recubierto 2. Por lo tanto, el sensor 80 se adapta para medir un movimiento (por ejemplo, vibraciones) del cuerpo recubierto 2 en relación con el cabezal de detector 4.

A continuación, se describe el funcionamiento del aparato 1 de la figura 1. El emisor de THz 10 emite una radiación de THz 60 que comprende una serie temporal de pulsos de THz que tienen una forma de pulso predeterminada (forma de pulso saliente).

La radiación de THz emitida 60 (línea de trazo continuo) se desplaza a lo largo de una primera trayectoria 62 desde el emisor de THz 10 al cuerpo recubierto 2, atravesando la separación de aire 42, tras lo cual la radiación de THz interacciona con el cuerpo recubierto 2. Una porción de la radiación de THz, indicada por la línea de trazo continuo en la figura 1, se refleja en la superficie del sustrato 2a y se propaga de vuelta a través de la separación de aire 42 y hacia el detector de THz 20. Otras porciones de la señal de radiación 60, indicadas por las líneas de trazo discontinuo en la figura 1, se reflejan parcialmente en diversas superficies de separación de capas del cuerpo recubierto (más precisamente, las mismas se reflejan (casi totalmente) en el lado del sustrato y se reflejan parcialmente en el lado del aire del recubrimiento 2b). Además de estas reflexiones, también la velocidad de propagación de las diversas porciones de la radiación de THz se ve influenciada durante su interacción con el cuerpo recubierto 2. En resumen, la radiación de THz interacciona con el cuerpo recubierto 2 de una forma que depende de la estructura y propiedades del cuerpo recubierto 2.

Después de esta interacción, la radiación de THz se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria 64 desde el cuerpo objetivo 2 al detector de THz 20 (como radiación de THz entrante). El detector de THz 20 detecta la radiación de THz entrante, de tal modo que se obtiene la forma de pulso de la radiación de THz entrante (más detalles a continuación).

La forma de pulso de la radiación de THz entrante 64 porta información detallada acerca del recubrimiento de pintura

2b del cuerpo recubierto 2 (por ejemplo, espesor y propiedades de material ópticas), debido a la interacción con el recubrimiento, en particular debido a las múltiples reflexiones ilustradas en la figura 1. Esta información está contenida en la forma de pulso del pulso de THz entrante 64 (junto con la forma de pulso de referencia de la señal de THz 60 emitida), por ejemplo, en términos de rasgos característicos debido a la reflexión en superficies de separación diferenciadas de la pila. La información - el espesor d y otras propiedades del recubrimiento 2b - se puede deducir, por lo tanto, mediante el análisis de la forma de pulso. Se describen métodos para determinar estos parámetros, por ejemplo, en el documento EP 2899498 A1 o en el documento WO 2016/138935 A1.

Para obtener el espesor d y otras propiedades de material ópticas del cuerpo recubierto 2 y sus capas de recubrimiento, la forma de pulso de la radiación de THz entrante se debería conocer con una precisión muy alta. Por lo tanto, a continuación, se describe el método para determinar la forma de pulso de la radiación de THz entrante mediante el módulo de reconstrucción de formas de pulso de acuerdo con una realización de la invención.

En general, la medición en tiempo real de la radiación de THz se realiza como se ha descrito anteriormente con respecto a las figuras 4a y 4b, excepto por las diferencias mencionadas en lo sucesivo. Por lo tanto, el emisor de THz 10 se acciona para emitir un pulso de THz de una forma de onda (saliente) dada periódicamente y, por lo tanto, después de la interacción con el cuerpo recubierto, una forma de onda entrante 66 se recibe periódicamente en el detector de THz 20. Para cada repetición del pulso de THz entrante, el detector de THz se activa en un desfase de tiempo diferente $t_1, \dots, t_6$, y mide la forma de onda en ese desfase de tiempo, como es indicado por los círculos pequeños encima de la forma de onda 66 en las figuras 4a y 4b. Por lo tanto, cada activación del detector de THz (cada círculo mostrado en las figuras 4a y 4b) pertenece a uno diferente de los pulsos recibidos repetidamente.

Sin embargo, la tecnología de detección de las figuras 4a y 4b, si se aplica en el contexto de un entorno industrial, es a veces imprecisa. Los inventores de la presente invención hallaron que una fuente de imprecisiones es que la distancia entre el cabezal de detección de THz 4 y el cuerpo recubierto 2 puede no ser constante durante la medición, dando como resultado un tiempo de vuelo variable del haz de THz, de pulso a pulso. Esta variación en la distancia puede ser causada, por ejemplo, por vibraciones relacionadas con el cabezal de detección 4 o el cuerpo recubierto 2. Asimismo, el tiempo de vuelo del haz de THz puede variar, por ejemplo, debido a un cambio de humedad del aire ambiente. En un entorno industrial, a veces no es factible, desde un punto de vista técnico o económico, disminuir o eliminar estas perturbaciones.

Las figuras 5a y 5b ilustran cómo las variaciones en el tiempo de vuelo pueden disminuir la fiabilidad y la precisión de la medición en la organización de las figuras 4a y 4b. Una vez más, la figura 5a ilustra una medición en tiempo real de un pulso de THz entrante (línea de trazo continuo: campo eléctrico E dependiente del tiempo en el detector como una función del tiempo), en donde la medición se realiza activando el detector en seis tiempos $t_1, \dots, t_6$ diferentes para seis funciones subsiguientes. En el presente caso, en la figura 5a, cada uno de los seis pulsos de THz entrantes llega al detector de THz con una variación de tiempo de vuelo t_v aleatoria debido a la variación aleatoria en el tiempo de vuelo. En la figura 5a, esto no se muestra como un desplazamiento horizontal relativo de los seis pulsos de THz (curva de trazo continuo), sino que, en su lugar, el tiempo "cero" de la figura 5a se desfasa la variación de tiempo de vuelo t_v respectiva para cada uno de los seis pulsos, de tal modo que los seis pulsos de THz entrantes se representan mediante la misma línea de trazo continuo de la figura 5. En otras palabras, en relación con un tiempo de emisión del pulso en el emisor de THz, las variables de tiempo de la figura 5a se desplazan, para cada una de las seis mediciones (círculos de trazo continuo), unos tiempos ($-t_v$) respectivos correspondientes al pulso de THz respectivo en el que se realiza la medición. Correspondientemente, en la figura 5 los tiempos $t_1, \dots, t_6$ de activación del detector (que se desencadenan en relación con el pulso de THz emitido) se desplazan la variación de tiempo de vuelo t_v .

En el método conocido, no se da cuenta de este desplazamiento durante la reconstrucción de la forma de pulso de THz, sino que, en su lugar, se supone que las mediciones tuvieron lugar en los tiempos $t_1, \dots, t_6$ como se muestra en la figura 5b. Por lo tanto, la precisión y la fiabilidad de la reconstrucción de formas de pulso se disminuyen en gran medida.

Las figuras 6a y 6b muestran una etapa de medición y de reconstrucción de la forma de pulso de THz mediante un módulo de reconstrucción de formas de pulso de acuerdo con una realización de la invención. En la misma, el detector de THz se activa en tiempos de desfase $t_1, \dots, t_6$ predeterminados, en relación con el pulso de THz emitido, como en el método conocido. Los tiempos de desfase $t_1, \dots, t_6$ se pueden establecer, por ejemplo, mediante una fase de retardo óptico que retarda el pulso de láser usado para activar el receptor de THz, mediante los métodos de ASOPS o de ECOPS, o mediante cualquier otro método conocido. Además, la variación de tiempo de vuelo t_v se determina, por ejemplo, mediante cualquiera de los métodos descritos en el presente documento.

Para reconstruir la forma de pulso de THz, unos tiempos de corrección t_d respectivos se suman a los tiempos de desfase $t_1, \dots, t_6$. Los tiempos de corrección t_d son iguales a la variación de tiempo de vuelo t_v mostrada en la figura 6a (hasta un desfase global constante). Por lo tanto, se corrige el error (véase la figura 5b) debido a la variación en el tiempo de vuelo de la radiación de THz. Por lo tanto, como se muestra en la figura 6b, se vuelve posible reconstruir la forma de pulso entrante de la radiación de THz entrante de una forma fiable y precisa.

En consecuencia, el módulo de reconstrucción de formas de pulso funciona como sigue:

- los datos de detector sin procesar (el campo eléctrico como una función del tiempo de retardo $t_1, \dots, t_6$ con respecto al pulso de THz emitido por el emisor de THz) se reciben desde el detector de THz;
- la variación de tiempo de vuelo t_v , para cada medición de datos de detector sin procesar (por ejemplo, para cada pulso de THz), se recibe desde el sensor (la variación de tiempo de vuelo t_v se puede calcular, por ejemplo, a partir de una cantidad de tiempo de vuelo d recibida desde el sensor);
- un tiempo de retardo corregido se obtiene sumando un tiempo de corrección t_d al tiempo de retardo $t_1, \dots, t_6$, siendo el tiempo de corrección igual a la variación de tiempo de vuelo t_v (véase la figura 6b); y
- la forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante (línea de trazo discontinuo en la figura 6b) se determina basándose en los datos de detector sin procesar (círculos) y el tiempo de retardo corregido.

Los tiempos de corrección t_d se obtienen, en la realización de la figura 1, como sigue: El sensor 80 mide continuamente la distancia (cantidad de tiempo de vuelo) d entre el cabezal de receptor de THz 4 y el cuerpo 2. A partir de la distancia d , se obtiene el tiempo de vuelo de la radiación de THz 60 a lo largo de la primera trayectoria 62 y la segunda trayectoria 64. Específicamente, el tiempo de vuelo respectivo de cada uno de los pulsos de THz se obtiene sincronizando la medición de cantidad de tiempo de vuelo con las mediciones del detector de THz. El tiempo de vuelo es usado entonces, por el módulo de reconstrucción de formas de pulso, como el tiempo de corrección t_d en el método ilustrado en la figura 6b, para corregir la variación en el tiempo de vuelo como se ha descrito anteriormente. En el presente documento, en lugar del tiempo de vuelo total, es suficiente calcular variaciones en el tiempo de vuelo, es decir, independientemente de un desfase constante.

La figura 8a muestra una forma de pulso en tiempo real reconstruida de un pulso de THz entrante que ha interactuado con un cuerpo vibrante, obtenida de acuerdo con el método ilustrativo mostrado en las figuras 5a y 5b. La forma de pulso contiene muchas fluctuaciones no reproducibles que indican que la medición de la forma de pulso es menos precisa y menos fiable. Debido a estas fluctuaciones, las propiedades de material ópticas y los espesores derivados de las mismas se pueden determinar de una forma menos precisa. La figura 8b muestra la amplitud de vibración del cuerpo obtenida usando un sensor 80 como se ilustra en la figura 1. La figura 8c muestra la forma de pulso en tiempo real reconstruida del pulso de THz entrante, obtenida de acuerdo con el método de acuerdo con la realización mostrada en las figuras 6a y 6b. La forma de pulso es mucho más precisa y fiable, y es útil para extraer más información del mismo.

La realización se puede variar de un número de formas para obtener realizaciones adicionales. Por ejemplo, en la realización de las figuras 7a y 7b, los tiempos de desfase $t_1, \dots, t_6$ para activar el detector de THz en relación con el tiempo de emisión del pulso de THz se desplazan un tiempo de corrección t_e para compensar la variación en el tiempo de vuelo t_v mostrada en las figuras 5a y 7a. Específicamente, t_e es el negativo de t_v hasta un desfase constante.

Esta compensación se puede lograr, por ejemplo, ajustando el funcionamiento del emisor de THz, más específicamente desfasando el tiempo de emisión de los pulsos de THz emitidos el tiempo de corrección t_e , al tiempo que no se ajusta el funcionamiento del detector de THz. Esta solución es posible, por ejemplo, en un método en el que el emisor de THz y el detector de THz son accionados por dos desencadenantes independientes (tal como en los métodos de ASOPS o de ECOPS). Como alternativa, esta compensación se puede lograr ajustando el funcionamiento del detector de THz, específicamente adaptando los desfases de tiempo de detección $t_1, \dots, t_6$ mediante un tiempo de corrección $t_e = + t_v$ (hasta una constante), para compensar la variación en el tiempo de vuelo t_v . Este ajuste se puede obtener cambiando los tiempos de desencadenamiento en los métodos de ASOPS o de ECOPS, o ajustando el tiempo de retardo de una fase de retardo óptico para el pulso de láser que activa el detector de THz. El tiempo de retardo se puede ajustar, por ejemplo, adaptando la longitud o el índice de refracción de la fase de retardo óptico.

De forma más general, el funcionamiento del emisor y/o detector de THz se ajusta de tal modo que el desfase de tiempo de detección respectivo para detectar una porción de pulso de un pulso de THz entrante, en relación con el tiempo de emisión del pulso de THz respectivo, se desplaza el tiempo de vuelo t_v .

En resumen, mediante los métodos mostrados en la figura 6b y 7b, llevados a cabo por un módulo de reconstrucción de formas de pulso, el tiempo de vuelo t_v se sincroniza con los datos de detector sin procesar (es decir, se obtiene el tiempo de vuelo respectivo para cada uno de los pulsos correspondientes a los tiempos $t_1, \dots, t_6$); la forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante se obtiene basándose en los datos de detector sin procesar (mediciones indicadas por círculos). Además, en la figura 6b, el funcionamiento del módulo de reconstrucción de formas de pulso se ajusta usando el tiempo de corrección t_d (basándose en el tiempo de vuelo t_v), sumando t_v a los tiempos de desfase $t_1, \dots, t_6$, para corregir una variación en el tiempo de vuelo de la radiación de THz. En la figura 7b, el funcionamiento del emisor de THz o del detector de THz se ajusta usando el tiempo de corrección t_e (basándose en el tiempo de vuelo t_v), cambiando el tiempo relativo entre el desencadenamiento de la emisión y la detección del pulso de THz, para corregir una variación en el tiempo de vuelo de la radiación de THz.

A continuación, se analizan diversas realizaciones para obtener el tiempo de vuelo t_v o cantidades relacionadas

(cantidades de tiempo de vuelo). En general, una cantidad que permite una estimación del tiempo de vuelo (y que se usa para obtener el tiempo de vuelo o al menos para corregir variaciones en el tiempo de vuelo) se denomina en el presente documento cantidad de tiempo de vuelo.

En la figura 1 descrita anteriormente se muestra una realización para obtener el tiempo de vuelo. En el presente caso, el sensor de distancia d mide la distancia entre el cabezal de detector de THz 4 y el cuerpo recubierto 2. Esta distancia d se transmite a la unidad de procesamiento 30 y se usa para calcular la longitud de la primera y la segunda trayectoria 62, 64 de la radiación de THz y, en consecuencia, el tiempo de vuelo de la radiación de THz. No es necesario medir la distancia absoluta d ; es suficiente medir variaciones relativas en la distancia d y calcular las variaciones en el tiempo de vuelo a partir de las mismas.

En la figura 2 se muestra una realización adicional. En la misma, contrariamente a la figura 1, el sensor 80 se une rígidamente al cuerpo recubierto 2. El sensor 80 es un sensor de distancia para medir la distancia d al cabezal de detector 4. Por lo tanto, como en la figura 1, el sensor 80 se adapta para medir un movimiento (por ejemplo, vibraciones) del cuerpo recubierto 2 en relación con el cuerpo recubierto 2.

El sensor 80 puede incluir, por ejemplo, cualquiera de un sensor de distancia de láser de triangulación, un sensor de distancia óptico de tiempo de vuelo (que mide el tiempo de desplazamiento de una señal de láser o un pulso de THz, por ejemplo), y un conjunto de sensores de segmentos de línea basándose en triangulación. Adicionalmente o como alternativa, el sensor 80 también puede incluir un acelerómetro usado para determinar variaciones de distancia.

En el caso de un sensor de distancia, el sensor 80 se puede montar en el cabezal de detector de THz 4, el cuerpo recubierto 2 (incluyendo cualquier parte conectada mecánicamente a estos) o en un elemento estacionario (por ejemplo, una pared o techo de edificio) para determinar variaciones de distancia relativas entre el cabezal de detector de THz 4 y el cuerpo recubierto 2. En el caso de un acelerómetro, el sensor 80 se puede montar en el cabezal de detector de THz 4 o en el cuerpo recubierto 2.

En una realización adicional, el sensor 80 puede comprender un sensor para una cantidad adicional que influye sobre el tiempo de vuelo, tal como un sensor de humedad. La humedad del aire ambiente influye indirectamente sobre el tiempo de vuelo debido a su influencia sobre el índice de refracción. En este caso, la unidad de procesamiento (el módulo de reconstrucción de formas de pulso) se adapta para calcular una variación estimada en el tiempo de vuelo a partir del valor de humedad medido por el sensor de humedad. El sensor de humedad se puede lograr, por ejemplo, mediante una unidad de evaluación de absorción de pulsos de THz para evaluar las absorciones de un pulso de THz recibido por el detector de THz o por un detector de THz adicional. Durante la propagación del pulso de THz, una porción del pulso es absorbida por la humedad contenida en la trayectoria del pulso de THz. La absorción se integra sobre la humedad a lo largo de la trayectoria óptica y, por lo tanto, también es útil cuando la humedad tiene un gradiente en el espacio. La unidad de evaluación de absorción de pulsos de THz puede determinar la humedad integrada mediante el análisis del pulso de THz detectado y la porción de pulso absorbida debido a las líneas de absorción de agua del pulso de THz. La relación entre el índice de refracción (y, por lo tanto, la velocidad de la luz) y la humedad se conoce o se puede determinar usando una pasada de calibración. A partir de la humedad integrada y usando esta relación conocida, la unidad de evaluación de absorción de pulsos de THz determina entonces la variación de la cantidad de tiempo de vuelo.

Asimismo, en una realización adicional, se puede usar como el sensor 80 un sensor de tiempo de vuelo para medir el tiempo de vuelo directamente. Los sensores 80 de las diversas realizaciones también se pueden combinar para obtener una estimación más robusta del tiempo de vuelo.

La realización de la figura 2 también ilustra algunas variantes posibles adicionales del aparato de detección de la figura 1. Por ejemplo, en la figura 2, en el cabezal de detector 4, el emisor de THz 10 y el detector de THz 20 se disponen con sus ejes (ópticos) a un ángulo (en el presente caso: 90°), y el cabezal de detector 4 comprende además un divisor de haz 13 dispuesto de tal modo que se alinean los ejes. Por lo tanto, se alinean los ejes ópticos, de tal modo que las señales de THz transmitidas y recibidas son colineales y normales a la superficie del cuerpo recubierto 2. Por lo tanto, la dirección principal de propagación de la radiación de THz preferiblemente incide normalmente sobre el cuerpo recubierto de tal modo que las señales de THz transmitidas y recibidas son colineales y normales a la superficie del cuerpo recubierto 2.

Son posibles disposiciones alternativas adicionales. Por ejemplo, el emisor de THz 10 y el detector de THz 20 se pueden disponer en lados opuestos del cuerpo recubierto 2, para habilitar una medición de transmisión en lugar de la medición de la realización de la figura 1.

A continuación, se describe un método para caracterizar el recubrimiento 2b del cuerpo objetivo 2 (véanse las figuras 1 y 2) analizando la forma de pulso de THz entrante reconstruida.

La sección de procesamiento 30 (véase la figura 1) recibe la radiación de THz entrante y el módulo de reconstrucción de formas de pulso 36 proporciona una forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante como se ha descrito anteriormente. La sección de procesamiento 30 también recibe, o ha almacenado en la misma, la forma

de onda 60 emitida por el emisor 10. La sección de procesamiento 30 realiza entonces un análisis de la forma de onda de respuesta (teniendo en cuenta la forma de onda original y otra información, tal como humedad y/o temperatura detectada) y, por lo tanto, obtiene los parámetros de pintura mediante el método descrito en el presente documento (véanse, por ejemplo, los documentos EP 2899498 A1 o WO 2016/138935 A1 para obtener detalles adicionales).

A continuación, un algoritmo para obtener parámetros de recubrimiento, para el ejemplo en el que el recubrimiento es una pintura, usando un modelo físico. Los parámetros de pintura pueden incluir, por ejemplo, al menos un espesor de la capa de pintura del cuerpo recubierto, por ejemplo, el espesor total de la pintura y/o la capa de pintura de una o más de su(s) subcapa(s), y/u otras propiedades de material ópticas.

Este algoritmo se ilustra con más detalle en el diagrama de bloques de la figura 9. Este algoritmo se basa en un modelo físico (óptico) 81. El modelo físico 81 incluye una correlación de predicción de forma de onda 84 que correlaciona los parámetros de modelo 92 como entrada con una forma de onda predicha 94 como salida. Además, el modelo 81 incluye una correlación de parámetros de pintura 82 que correlaciona los parámetros de modelo 92 como entrada con los parámetros de pintura 91 como salida. En el presente documento, los parámetros de modelo 92 son, por ejemplo, una parametrización del índice de refracción $n(\omega)$ y el espesor d para cada capa; y la forma de onda predicha 94 es, por ejemplo, una forma predicha de la señal de respuesta.

El algoritmo incluye además una función de error 85 que expresa una desviación 95 entre la respuesta predicha 94 por un lado y la respuesta reconstruida 74 (la forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante obtenida a partir del detector de THz 20 a través del módulo de reconstrucción de formas de pulso - no mostrado en la figura 9 - de acuerdo con un método de la presente invención) por otro lado.

A continuación, se describe con más detalle el propio algoritmo iterativo, como se ilustra en la figura 9. En una primera etapa, se generan unos parámetros de ajuste iniciales 92, por ejemplo, como números aleatorios o valores iniciales plausibles. En este ejemplo, como se ha indicado anteriormente, los parámetros de ajuste vienen dados por el espesor y los parámetros respectivos que caracterizan el índice de refracción respectivo de cada capa. Los parámetros de modelo 92 se seleccionan iterativamente entonces de tal modo que los mismos minimizan la función de error 85, es decir, que proporcionan un ajuste óptimo a la respuesta reconstruida 74. Entonces, los parámetros de ajuste finales 92 se usan para calcular los parámetros de pintura 91 (por ejemplo, espesores) a través de la correlación de parámetros de pintura 82. Se describen detalles adicionales del método en el documento EP 2899498 A1 y en el documento WO 2016/138935 A1 (la descripción de la figura 4). El método se puede usar en particular para determinar un espesor de capa seca de una capa seca, un espesor de capa húmeda de una capa húmeda y/o un espesor de capa seca predicho de una capa húmeda, como se describe en estas referencias. Al mejorar la precisión y la fiabilidad de la forma de pulso medida del pulso de THz entrante como se describe en el presente documento, se mejoran adicionalmente la fiabilidad y la precisión de la caracterización resultante del recubrimiento.

A continuación, un sistema de pintura y un proceso de pintura que usan el sistema de acuerdo con la invención se describen con referencia a la figura 10. En lo sucesivo, se describe como un ejemplo la pintura de un automóvil, pero el ejemplo se puede generalizar al recubrimiento de otros cuerpos.

La figura 10 muestra un dibujo esquemático del sistema de pintura que es una línea de pintura. La línea de pintura tiene un número cubículos para, por ejemplo, pintura, evaporación, control de calidad, readaptación de la pintura y curado, en concreto, una cabina de pintura 101, un cubículo (zona de evaporación) 102 para el control de calidad de la pintura basándose en la tecnología de THz, una cabina de pintura adicional (opcional) 103 para corregir las capas de pintura, un cubículo calentado (horno) 104 para curar la pintura, y una salida 105 hacia la siguiente etapa de procesamiento.

El sistema de pintura puede incluir además: un mecanismo de transporte para transportar el cuerpo recubierto 2 desde la cabina de pintura 101 a través de los otros cubículos hacia la salida 105; una climatización en cada cubículo; un sensor de temperatura y de humedad en cada cubículo; unos robots que se equipan para al menos uno de pintar la carrocería o cuerpo de automóvil; siendo el aparato de detección 1 para realizar un control de calidad de los cuerpos pintados; o un(os) robot(s) de manipulación para portar los cuerpos pintados.

A continuación, los cubículos individuales y su funcionalidad en el sistema de pintura de la figura 10 se describen con más detalle. La cabina de pintura 101 tiene una unidad de pintura (robot de pintura) 3a para aplicar una capa de pintura al cuerpo 2. Opcionalmente, se puede aplicar más de una capa de pintura. Se proporciona un robot adicional 3b para manipular el componente de automóvil, por ejemplo, moviendo este para que se pinte apropiadamente. Posteriormente el sistema de transportes mueve el cuerpo a la zona de evaporación 102, en o cerca de la cual se realiza un control de calidad temprano basándose en la tecnología de THz.

La zona de evaporación 102 tiene un aparato de detección 1 de acuerdo con la invención para el control de calidad inmediatamente después de la deposición de pintura, preferiblemente mientras la pintura está aún húmeda. Por lo tanto, es posible una observación temprana de defectos posibles en la superficie pintada. Como se ha descrito anteriormente, el aparato de detección 1 está configurado para explorar la carrocería o cuerpo de automóvil con un patrón predefinido, tal como para obtener parámetros de calidad, tales como al menos uno del espesor de la pintura

húmeda y una predicción del espesor en estado seco e información acerca de otros defectos posibles. Esta información se puede correlacionar con toda la superficie de carrocería o cuerpo de automóvil explorada. Por lo tanto, el aparato de detección 1 habilita un control de calidad temprano sin contacto y no destructivo de las capas de pintura recién depositadas sobre carrocerías o cuerpos de automóvil mientras se procesan en la línea de pintura.

Si un defecto es detectado por el aparato de detección 1, la carrocería o cuerpo de automóvil 2 se puede retirar de la línea principal en una fase temprana, de tal modo que se asegura que la línea de aguas abajo solo contiene cuerpos que están pintados correctamente. Además, al proporcionar el aparato de detección 1 en la zona de evaporación, en donde, de todos modos, el cuerpo tiene que esperar a que el disolvente se evapore parcialmente, el control de calidad no requiere ningún tiempo adicional y, por el contrario, reduce considerablemente el tiempo de entrega de los cuerpos pintados correctamente potenciando la eficiencia de la línea de pintura principal.

Opcionalmente, la carrocería o cuerpo de automóvil 2 puede experimentar una etapa de pintura correctiva adicional o bien en la zona de evaporación 102 o bien, después de transportarse de vuelta, en el cubículo de pintura 101, o bien en un cubículo de pintura adicional opcional 103 (mediante un robot de pintura adicional 3b). Esta última opción permite que el cuerpo 2 permanezca en la línea principal.

El proceso de pintura implica habitualmente de dos a tres capas. Estas capas se pueden depositar, todas ellas, en una cabina de pintura 101 (técnica de húmedo sobre húmedo), o puede haber cabinas de pintura adicionales (no mostradas) y cubículos asociados para cada capa adicional, o bien después de un cubículo de evaporación 102 o bien después de un horno de curado 104. El control de calidad por el aparato de detección 1 puede tener lugar después de cada cabina o cubículo de pintura o solo después de uno específico.

Opcionalmente, el sistema de pintura puede tener un sistema de control de realimentación de lazo cerrado que recibe datos desde el aparato de detección 1 en el cubículo 102 y los envía directa o indirectamente a equipos anteriores en la línea de proceso, tales como el robot de pintura 3a en el cubículo 101. Se proporcionaría un envío indirecto si los datos se envían a través de otra entidad que tiene otra capacidad que el mero reenvío de los datos, por ejemplo, a través de una unidad de procesamiento que calcula el programa adaptado para el robot. El sistema de realimentación de lazo cerrado influye sobre los parámetros de proceso del robot de pintura 3a dependiendo de los datos recibidos desde el aparato de detección 1. Como alternativa o adicionalmente, el sistema de control de realimentación puede enviar los datos también a equipos posteriores en la línea de proceso, tal como al robot de pintura 3b en el cubículo 103. El sistema de realimentación de lazo cerrado influye entonces sobre los parámetros de proceso del robot de pintura 3b dependiendo de los datos recibidos desde el aparato de detección 1.

Por lo tanto, el sistema de control de realimentación de lazo cerrado se puede usar en el caso de que las desviaciones de los parámetros de calidad que resultan del control de calidad temprano sean, por ejemplo, reproducibles para varios cuerpos pintados 2 y/o parezcan ser sistemáticas. En estos casos, las cuestiones sistemáticas se pueden corregir de una forma oportuna.

Son posibles alternativas y ampliaciones adicionales de las realizaciones descritas en el presente documento. Se pueden proporcionar ampliaciones, por ejemplo, añadiendo equipos al sistema después del control de calidad temprano que se ocupan de la consecuencia del resultado (negativo).

La figura 10 sugiere una cabina de pintura en línea que corrige inmediatamente los fallos de las capas de pintura en el cubículo 103. Sin embargo, también puede haber una ruta alternativa en el sistema (horizontal pero también vertical) que conduce el cuerpo recubierto 2 a otra zona de la fábrica y/o que retira el cuerpo recubierto particular de la línea de productos. A partir de una ruta alternativa de este tipo, existen, una vez más, dos opciones: o bien dejar las carrocerías o cuerpos de automóvil corregidos en una línea de proceso separada o bien volver a introducir las mismas en la línea principal de la figura 10.

Aunque la invención se ha descrito principalmente en el contexto del control de calidad de capas de pintura de componentes de automóvil, la invención no se circunscribe a esta aplicación. Por ejemplo, la invención se puede adaptar a otros cuerpos recubiertos, tales como no solo un componente de automóvil, sino también un componente de tren, un componente de aeronave y un componente de turbina eólica, y otros. Esta también se puede usar para el control de calidad de otros materiales, tales como hojas de papel o semiconductores.

Descripción de aspectos generales y opcionales de la invención

En lo sucesivo, se describen algunos aspectos más de la invención. A menos que se indique explícitamente lo contrario, los aspectos son opcionales e independientes entre sí de tal modo que, por ejemplo, cualquier aspecto o realización descrito en el presente documento se puede combinar con cualquier otro aspecto o realización, siempre que la combinación resultante caiga dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. En primer lugar, se describen con más detalle algunos aspectos en relación con el **cuerpo objetivo**. De acuerdo con un aspecto, el cuerpo objetivo es un cuerpo recubierto. El recubrimiento puede ser de múltiples capas y tener al menos una primera y una segunda capa de recubrimiento. Las capas se disponen, en la dirección del espesor del cuerpo recubierto, una encima de otra. De acuerdo con un aspecto, el número total de capas de recubrimiento es de ocho o menos. De acuerdo con un

aspecto, el recubrimiento tiene un espesor de menos de 200 μm . De acuerdo con un aspecto adicional, el recubrimiento es una película de pintura. La película de pintura puede comprender al menos una de las siguientes capas (a)-(d): (a) una capa de recubrimiento electroforético; (b) una capa de imprimación; (c) una capa de recubrimiento base; y (d) una capa de recubrimiento transparente.

De acuerdo con un aspecto adicional, el cuerpo objetivo es uno de un componente de automóvil, un componente de tren, un componente de aeronave y un componente de turbina eólica. De acuerdo con un aspecto adicional, el cuerpo objetivo comprende al menos uno de un metal ferroso, un metal no ferroso y un material compuesto de fibra como un sustrato sobre el que se aplica una capa de recubrimiento (opcionalmente, con otras capas de recubrimiento entremedias).

A continuación, se describen aspectos en relación con el **emisor y detector de THz**. De acuerdo con un aspecto, el emisor de THz comprende un sistema óptico de THz para dirigir la radiación de THz emitida a lo largo de una primera trayectoria desde el emisor de THz al cuerpo objetivo, interacciona con el cuerpo objetivo y se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria desde el cuerpo objetivo al detector de THz. De acuerdo con un aspecto, el emisor de THz se adapta para emitir la radiación de THz como una serie temporal (preferiblemente periódica) de pulsos de THz que tienen una forma de pulso saliente. De acuerdo con un aspecto, los pulsos salientes de una serie de pulsos salientes tienen esencialmente la misma forma de pulso. A menos que se indique lo contrario, se entiende que la forma de pulso es en tiempo real. Por ejemplo, el emisor de THz puede comprender una antena de THz y un láser de activación que emite periódicamente pulsos de láser ultracortos hacia la antena de THz para hacer que la antena de THz emita pulsos de THz.

De acuerdo con un aspecto, el **detector de THz** tiene una porción de antena conductora de forma conmutable, y la detección de la radiación de THz entrante comprende: aplicar, en diferentes desfases de tiempo para unos respectivos de los pulsos de THz entrantes, una señal de activación cíclica pulsada a la porción de antena de tal modo que la porción de antena se vuelve conductora; y medir una porción de pulso del pulso de THz entrante mientras se aplica la señal de activación cíclica pulsada.

De acuerdo con un aspecto, el detector de THz comprende un receptor de radiación de THz y un sistema óptico de THz (por ejemplo, una o más lentes) para dirigir la radiación de THz que ha interactuado con el cuerpo recubierto al receptor de radiación de THz. El detector de THz comprende además una unidad de retardo de luz sintonizable que acopla el receptor de radiación de THz a la fuente de láser usada para accionar el emisor de THz, de tal modo que se habilita que el receptor de radiación de THz reciba la radiación de láser de fuente desde la fuente de láser para activar el detector de THz, con un retardo sintonizable. Por lo tanto, la misma radiación de fuente de láser recibida por el emisor de THz también puede ser recibida por el detector de THz. Esto permite que el receptor de THz funcione de una forma análoga a la del receptor de THz que se muestra en la figura 1 del documento EP 2 213 977 A1, con la diferencia importante de que, en la presente solicitud, el sistema mide una cantidad de tiempo de vuelo y usa la cantidad de tiempo de vuelo para corregir una variación en el tiempo de vuelo de la radiación de THz.

De acuerdo con un aspecto adicional, el receptor de radiación de THz comprende un cristal fotónico o una antena, y/o el emisor de radiación de THz comprende una antena o un módulo de generación de THz con adaptación de fase de Cherenkov, por ejemplo. El cristal fotónico puede comprender, por ejemplo, DAST, GaP, ZnTe; la antena fotoconductora puede comprender, por ejemplo, InGaAs o GaAs. De acuerdo con un aspecto adicional, el emisor/receptor de radiación de THz se adapta para emitir/recibir la señal de radiación de THz como pulsos de THz periódicos.

En el presente documento, la radiación de THz se define como radiación electromagnética de (es decir, que incluye una componente de señal no despreciable que tiene) una frecuencia en el intervalo de 0,01-10 THz. El límite inferior es preferiblemente de 0,05 THz e incluso más preferiblemente de 0,1 THz. La señal detectada (por ejemplo, una forma de onda en el dominio del tiempo y/o un espectro en el dominio de la frecuencia de la radiación de THz detectada) también se denomina señal de respuesta.

A continuación, se describen algunos **aspectos generales del cabezal de detección**. De acuerdo con un aspecto, el cabezal de detección comprende el emisor de THz y el detector de THz y un cuerpo de conexión sólido. El cuerpo de conexión establece una conexión estable mecánicamente entre el emisor de THz y el detector de THz. El cuerpo puede permitir un movimiento entre el emisor de THz y el detector de THz, por ejemplo, por medio de un accionador, una articulación y/o un engranaje, o puede ser rígido. De acuerdo con un aspecto, el cabezal de detección se adapta para una medición sin contacto, es decir, sin ningún componente de sensor que requiera un contacto físico directo con el cuerpo recubierto. Esto no excluye que un soporte que sostiene el cuerpo recubierto, o cualquier componente de sensor adicional que no sea el emisor y receptor de THz, tenga contacto con el cuerpo objetivo.

A continuación, se describen con más detalle algunos aspectos en relación con la **disposición geométrica** del aparato de detección. De acuerdo con un aspecto, el emisor de THz y el detector de THz se pueden disponer, en un estado operativo, en el mismo lado del cuerpo recubierto. Esto es particularmente ventajoso en el caso de que el sustrato del cuerpo recubierto sea reflectante a la radiación de THz, por ejemplo, un sustrato de metal de una carrocería o cuerpo de automóvil.

Como alternativa, el emisor de THz y el detector de THz se pueden disponer para estar, en estado operativo, en lados opuestos del cuerpo recubierto para realizar una medición de transmisión. Esto es especialmente útil si el sustrato del cuerpo recubierto es al menos parcialmente transparente a la radiación de THz (por ejemplo, transmisión de al menos el 0,1 % de la intensidad de haz de la radiación de THz).

A continuación, se describen algunos aspectos en relación con el **sensor**. El sensor se adapta para medir una cantidad de tiempo de vuelo d que afecta al tiempo de vuelo de la radiación de THz a lo largo de al menos una de la primera trayectoria y la segunda trayectoria, preferiblemente a lo largo de toda la trayectoria desde el emisor de THz al detector de THz. No es necesario que el tiempo de vuelo sea la señal medida directamente por el sensor, sino que puede ser una cantidad derivada. La cantidad de tiempo de vuelo se mide de una forma dependiente del tiempo y preferiblemente con una resolución temporal que es igual a o más pequeña que el período entre dos pulsos de láser subsiguientes y/o que un período de vibración principal del cuerpo objetivo.

A continuación, se describen algunos aspectos en relación con el **funcionamiento del módulo de reconstrucción de formas de pulso**. De acuerdo con un aspecto, el método comprende sincronizar la cantidad de tiempo de vuelo d con los datos de detector (sin procesar) medidos por el detector de THz. La sincronización comprende asignar, para cada uno de los pulsos de THz entrantes (o para cada una de las mediciones de datos sin procesar), un elemento de serie temporal respectivo de la cantidad de tiempo de vuelo correspondiente al tiempo del pulso de THz entrante (o de la medición de datos sin procesar).

De acuerdo con un aspecto, el funcionamiento del módulo de reconstrucción de formas de pulso se ajusta usando la cantidad de tiempo de vuelo d , para corregir una variación en el tiempo de vuelo de la radiación de THz. Por ejemplo, el módulo de reconstrucción de formas de pulso puede determinar una forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante, basándose en los datos de detector sin procesar y en la cantidad de tiempo de vuelo sincronizada. Más específicamente, el módulo de reconstrucción de formas de pulso puede reconstruir la forma de pulso entrante a partir de las porciones de pulso medidas de múltiples pulsos de THz (datos sin procesar medidos por el detector de THz), y a partir de desfases de tiempo y tiempos de corrección (cantidad de tiempo de vuelo) respectivos asociados a la porción de pulso respectiva. Los desfases de tiempo son desfases del tiempo de medición del detector de THz en relación con un tiempo de referencia relacionado con el pulso de THz emitido, y los tiempos de corrección describen (son) variaciones en el tiempo de vuelo del pulso de THz, obtenidas a partir de la salida del sensor. De acuerdo con un aspecto, la determinación de la forma de pulso entrante reconstruida comprende sumar el tiempo de corrección para uno respectivo de los pulsos de THz entrantes al desfase de tiempo para el pulso de THz entrante respectivo. En el presente documento, la resta también se considera una forma de suma.

De acuerdo con un aspecto, la determinación de la forma de pulso entrante reconstruida comprende determinar, para cada uno de los pulsos de THz entrantes, un tiempo de corrección, describiendo el tiempo de corrección un retraso de tiempo relativo debido al tiempo de vuelo del pulso de THz entrante respectivo, en donde el módulo de reconstrucción de formas de pulso determina el tiempo de corrección basándose en la cantidad de tiempo de vuelo medida; y determinar una forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante, basándose en los datos de detector sin procesar y en el tiempo de corrección.

De acuerdo con un aspecto, la determinación de la forma de pulso entrante reconstruida comprende calcular, para cada pulso de THz entrante, un tiempo de retardo corregido sumando un tiempo de corrección t_d respectivo obtenido a partir de la cantidad de tiempo de vuelo al tiempo de retardo respectivo mediante el cual se activa el receptor de THz en relación con el pulso de THz emitido. El tiempo de corrección t_d se puede obtener como la variación de tiempo de vuelo t_v del pulso de THz entrante respectivo. La forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante se puede determinar entonces basándose en los datos de detector sin procesar y el tiempo de retardo corregido.

De acuerdo con un aspecto, la forma de pulso entrante se reconstruye en el dominio del tiempo.

A continuación, se describen algunos aspectos en relación con el **procesamiento** de la señal de respuesta detectada. El aparato de detección está configurado para caracterizar un cuerpo recubierto por cualquier método o cualesquiera etapas de método descritos en el presente documento. En el presente documento, la expresión "configurado para" incluye que la unidad de procesamiento se equipe y se programe a este efecto. Para este fin, una memoria de la unidad de procesamiento se puede equipar con código de programa para hacer que un procesador de la unidad de procesamiento ejecute el método de acuerdo con cualquier aspecto descrito en el presente documento. De acuerdo con un aspecto adicional, la unidad de procesamiento tiene una memoria que contiene código que hace que el procesador realice las etapas de método.

De acuerdo con un aspecto, se proporciona un método para caracterizar el cuerpo recubierto mediante al menos un parámetro de recubrimiento basándose en el ajuste a un modelo físico. El método comprende: emitir, mediante el emisor de THz, una señal de radiación de THz hacia el cuerpo recubierto de tal modo que la radiación de THz interacciona con el recubrimiento polimérico; detectar, mediante el detector de THz, una señal de respuesta que es la señal de radiación de THz detectada que ha interactuado con el recubrimiento polimérico; determinar, por la unidad de procesamiento, parámetros de modelo del modelo físico optimizando los parámetros de modelo de tal modo que

una señal de respuesta predicha del modelo físico se ajusta a la señal de respuesta detectada, siendo indicativos, los parámetros de modelo, de propiedades de material ópticas del recubrimiento polimérico que describen la interacción de la señal de radiación de THz con el recubrimiento polimérico; y determinar, a partir de los parámetros de modelo determinados, al menos un parámetro de recubrimiento. El al menos un parámetro de recubrimiento puede incluir un espesor del recubrimiento polimérico y/u otros parámetros descritos en el presente documento.

A continuación, se analizan algunos aspectos en relación con el método y la **instalación para pintar un cuerpo**. De acuerdo con un aspecto, la instalación de pintura comprende una unidad de pintura para aplicar una capa de pintura al cuerpo (por ejemplo, una unidad/robot de pulverización de pintura para aplicar una pintura a base de agua o una pintura a base de disolvente); y una unidad de detección que comprende el aparato de detección descrito en el presente documento. La instalación de pintura puede ser una línea de pintura de una fábrica de automóviles. La unidad de pintura y la unidad de sensores se pueden proporcionar en una única cabina de pintura, lo que permite un control de calidad inmediato de la capa de pintura. Como alternativa, la unidad de pintura y la unidad de sensores se pueden proporcionar en diferentes cabinas, lo que permite un control de calidad de la capa de pintura, por ejemplo, durante o después de la evaporación y/o el curado.

De acuerdo con un aspecto, el aparato de detección se adapta para caracterizar la capa de pintura húmeda mientras el cuerpo aún se está pintando y/o mientras la capa de pintura húmeda todavía no ha finalizado el proceso de secado. Opcionalmente, el aparato de detección se acopla operativamente a la unidad de pintura para procesar adicionalmente el cuerpo recubierto en función de la capa de pintura húmeda caracterizada, por ejemplo, de los parámetros de recubrimiento obtenidos. Por ejemplo, la unidad de pintura se puede configurar para adaptar parámetros de pintura en respuesta a los parámetros de recubrimiento. Como alternativa, el aparato de detección se acopla operativamente a una unidad de pintura adicional para procesar adicionalmente el cuerpo recubierto en función de la capa de pintura húmeda caracterizada. El procesamiento adicional puede incluir retirar el cuerpo recubierto de la línea de procesamiento de forma temporal (por ejemplo, para volver a pintar) o permanente. El procesamiento adicional también puede incluir retirar la pintura y/o aplicar una(s) capa(s) adicional(es) de pintura, preferiblemente mientras la capa de pintura húmeda todavía no está seca.

Algunos aspectos de la invención permiten un control de calidad de cuerpos pintados, por ejemplo, componentes de automóvil, mientras se están procesando los mismos. Esto permite un control de calidad temprano mientras las superficies pintadas están aún húmedas y, de forma correspondiente, una separación temprana entre cuerpos pintados correctamente y aquellos con defectos. Debido a la separación temprana, el tiempo de entrega de proceso se puede disminuir y los parámetros del proceso de pintura se pueden adaptar en un tiempo corto. El aparato de detección y el método de control de calidad se pueden usar para un control de calidad *on-line* ("en paralelo a la línea"), *in-line* ("en línea"), *at-line* ("junto a la línea") y *off-line* ("fuera de línea"), pero se prefiere que se use *in-line*.

El sistema de acuerdo con la invención es especialmente aplicable en el caso de que el recubrimiento sea una película de pintura que tiene una o más capas de capa de pintura húmeda. Un uso del sistema es para el análisis/pintura de una carrocería o cuerpo de automóvil pintado o de un componente de automóvil pintado. Otro uso es para el análisis/pintura de una carrocería o cuerpo/componente de tren, un cuerpo/componente de aeronave, tal como un fuselaje de aeronave, ala de aeronave o similares. Otro uso es para el análisis/pintura de un componente de turbina eólica, en particular de una pala pintada de una turbina eólica. El cuerpo de sustrato puede comprender al menos uno de un metal ferroso, un metal no ferroso y un material compuesto de fibra. Por ejemplo, una aplicación del presente aspecto de la invención es la detección de defectos en palas de turbinas eólicas, por ejemplo, para fines marinos. En el presente caso, el cuerpo recubierto es una pala de turbina eólica que contiene un defecto por debajo de la capa de pintura húmeda.

A continuación, se analizan algunos aspectos en relación con la **tecnología digital e integración de redes**. De acuerdo con un aspecto, el aparato de detección puede comprender además una interfaz de red para conectar el dispositivo a una red de datos, en particular, una red de datos global. La red de datos puede ser una red de TCP/IP, tal como Internet. El aparato de detección y, en particular, su controlador, se puede conectar operativamente a la interfaz de red para llevar a cabo órdenes recibidas desde la red de datos. Las órdenes pueden incluir una orden de control para controlar el dispositivo para llevar a cabo una tarea, tal como iniciar, detener y/o controlar una pasada de detección. En este caso, el dispositivo y/o controlador se adapta para llevar a cabo la tarea en respuesta a la orden de control. Las órdenes pueden incluir una solicitud de datos. En respuesta a la solicitud de datos, o sin una solicitud previa, el aparato se puede adaptar para enviar información de medición (por ejemplo, un informe de medición que incluye la forma de pulso entrante reconstruida y/o propiedades físicas determinadas del cuerpo objetivo) a la interfaz de red, y la interfaz de red se adapta entonces para enviar la información de medición a través de la red. La información de medición se envía preferiblemente a través de la red como información digital. Las órdenes pueden incluir una orden de actualización que incluye datos de actualización. En este caso, el dispositivo y/o controlador se adapta para iniciar una actualización en respuesta a la orden de actualización y usar los datos de actualización. Por lo tanto, el aparato puede ser parcial o totalmente accesible a través de la red.

La red de datos puede ser una red de Ethernet que use TCP/IP, tal como LAN, WAN o Internet. La red de datos puede comprender unidades de almacenamiento distribuidas tales como la Nube. Dependiendo de la aplicación, la Nube puede estar en forma de Nube pública, privada, híbrida o comunitaria.

Aunque lo anterior se dirige a realizaciones, se pueden idear otras realizaciones y realizaciones adicionales sin apartarse del alcance básico determinado por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método para detectar un haz de THz pulsado, comprendiendo el método:

- 5 - emitir, mediante un emisor de THz (10), una radiación de THz (60) que comprende una serie temporal de pulsos de THz que tienen una forma de pulso saliente, de tal modo que la radiación de THz se desplaza a lo largo de una primera trayectoria (62) desde el emisor de THz (10) a un cuerpo objetivo (2) que se va a inspeccionar, interacciona con el cuerpo objetivo y se desplaza a lo largo de una segunda trayectoria (64) desde el cuerpo objetivo a un detector de THz (20);
- 10 - detectar, mediante el detector de THz (20), la radiación de THz entrante que es una serie temporal de pulsos de THz entrantes, y emitir, mediante el detector de THz (20), unos datos de detector sin procesar que son una serie temporal de datos en relación con una forma de pulso entrante de los pulsos de THz entrantes; y
- determinar, mediante un módulo de reconstrucción de formas de pulso (36), una forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante basándose en los datos de detector sin procesar, **caracterizado por**
- 15 - medir, mediante un sensor (80), una cantidad de tiempo de vuelo (d) que afecta al tiempo de vuelo de la radiación de THz (60) a lo largo de al menos una de la primera trayectoria (62) y la segunda trayectoria (64), midiéndose la cantidad de tiempo de vuelo (d) de una forma dependiente del tiempo mientras la radiación de THz es emitida por el emisor de THz; y
- 20 - ajustar el funcionamiento de al menos uno del emisor de THz (10), el detector de THz (20) y el módulo de reconstrucción de formas de pulso (36) usando la cantidad de tiempo de vuelo (d), para corregir una variación en el tiempo de vuelo de la radiación de THz (60).

2. Método para detectar un haz de THz pulsado de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el funcionamiento del módulo de reconstrucción de formas de pulso (36) se ajusta mediante al menos una de las (i) a (iii) siguientes:

- 25 (i) sincronizar la cantidad de tiempo de vuelo (d) con los datos de detector sin procesar;
- (ii) determinar, mediante el módulo de reconstrucción de formas de pulso (36), una forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante, basándose en los datos de detector sin procesar y en la cantidad de tiempo de vuelo, preferiblemente sincronizada;
- 30 (iii) determinar, mediante el módulo de reconstrucción de formas de pulso (36), una forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante reconstruyendo la forma de pulso entrante a partir de las porciones de pulso medidas, y a partir de los desfases de tiempo y tiempos de corrección respectivos asociados a la porción de pulso respectiva.

35 3. Método para detectar un haz de THz pulsado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el funcionamiento del emisor de THz (10) se ajusta adaptando desfases de tiempo de emisión de los pulsos de THz emitidos en función de la cantidad de tiempo de vuelo (d).

40 4. Método para detectar un haz de THz pulsado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el funcionamiento del detector de THz (20) se ajusta adaptando desfases de tiempo de detección para detectar porciones de los pulsos de THz entrantes en función de la cantidad de tiempo de vuelo (d).

45 5. Método para detectar un haz de THz pulsado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la cantidad de tiempo de vuelo (d) es un tiempo de corrección que indica una variación del tiempo de vuelo de un pulso de THz entrante respectivo, o en donde el método comprende además calcular el tiempo de corrección a partir de la cantidad de tiempo de vuelo (d).

6. Método para detectar un haz de THz pulsado de acuerdo con la reivindicación anterior, en donde

- 50 el detector de THz (20) tiene una porción de antena conductora de forma conmutable, y en donde la detección de la radiación de THz entrante comprende:
aplicar, en diferentes desfases de tiempo para unos respectivos de los pulsos de THz entrantes, una señal de activación cíclica pulsada a la porción de antena de tal modo que la porción de antena se vuelve conductora; y
medir una porción de pulso del pulso de THz entrante mientras se aplica la señal de activación cíclica pulsada.

55 7. Método para detectar un haz de THz pulsado de acuerdo con la reivindicación anterior, en donde la determinación de la forma de pulso entrante reconstruida comprende además sumar el tiempo de corrección para uno respectivo de los pulsos de THz entrantes al desfase de tiempo para el pulso de THz entrante respectivo.

60 8. Método para detectar un haz de THz pulsado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además el método:
determinar propiedades físicas del cuerpo objetivo basándose en la forma de pulso saliente y en la forma de pulso entrante reconstruida.

65 9. Método para recubrir un cuerpo, comprendiendo el método

- aplicar una capa de recubrimiento al cuerpo objetivo (2);
- detectar un haz de THz pulsado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores; y
- caracterizar un recubrimiento (2b) del cuerpo objetivo (2) que incluye la capa de recubrimiento aplicada de una forma sin contacto analizando la forma de pulso de THz entrante reconstruida de la radiación de THz entrante.

10. Método para recubrir un cuerpo de acuerdo con la reivindicación 9, en donde el recubrimiento (2b) se caracteriza mientras la capa de recubrimiento es una capa de recubrimiento húmeda que todavía no ha finalizado un proceso de secado.

11. Aparato para detectar un haz de THz pulsado, en particular, aparato adaptado para implementar el método de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el aparato:

- un emisor de THz (10) para emitir una radiación de THz (60) que comprende una serie temporal de pulsos de THz que tienen una forma de pulso saliente, en donde el emisor de THz se adapta para dirigirse hacia un cuerpo objetivo (2) que se va a inspeccionar de tal modo que la radiación de THz se desplaza a lo largo de una primera trayectoria (62) desde el emisor de THz al cuerpo objetivo (2) que se va a inspeccionar;
- un detector de THz (20) para detectar una radiación de THz entrante que es una serie temporal de pulsos de THz entrantes generados por la radiación de THz emitida que ha interactuado con el cuerpo objetivo y que se ha desplazado a lo largo de una segunda trayectoria (64) desde el cuerpo objetivo (2) al detector de THz (20), y para emitir unos datos de detector sin procesar que son una serie temporal de datos en relación con una forma de pulso entrante de los pulsos de THz entrantes; y
- un módulo de reconstrucción de formas de pulso (36) para sincronizar la cantidad de tiempo de vuelo con los datos de detector sin procesar, y para determinar una forma de pulso entrante reconstruida de la radiación de THz entrante basándose en los datos de detector sin procesar,

caracterizado por

- un sensor (80) para medir una cantidad de tiempo de vuelo (d) que afecta al tiempo de vuelo de la radiación de THz (60) a lo largo de al menos una de la primera trayectoria (62) y la segunda trayectoria (64), estando adaptado el sensor (80) para medir la cantidad de tiempo de vuelo (d) de una forma dependiente del tiempo mientras la radiación de THz es emitida por el emisor de THz; y por
- tener al menos uno del emisor de THz (10), el detector de THz (20) y el módulo de reconstrucción de formas de pulso (36) una interfaz que está adaptada para recibir la cantidad de tiempo de vuelo (d) y que está adaptada para corregir una variación en el tiempo de vuelo de la radiación de THz (60) usando la cantidad de tiempo de vuelo recibida (d).

12. Aparato de acuerdo con la reivindicación 11 que comprende además un cabezal de emisor-detector de THz, en donde el emisor de THz (10) y el detector de THz (20) se montan en el cabezal de emisor-detector de THz acoplado mecánicamente el emisor de THz y el detector de THz entre sí, y preferiblemente en donde al menos una porción de sensor (80) se acopla mecánicamente al cabezal de emisor-detector de THz.

13. Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 y 12, en donde al menos una porción de sensor del sensor (80) se acopla mecánicamente (i) al emisor de THz y/o al detector de THz, o (ii) al cuerpo objetivo (2), o (iii) tanto a (i) como a (ii).

14. Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13 anteriores, en donde el sensor (80) comprende al menos uno de los siguientes:

- un sensor de distancia, tal como un sensor de distancia óptico;
- un sensor de aceleración;
- un sensor de vibración;
- un sensor de aire ambiente, tal como un sensor de humedad del aire;
- un sensor de tiempo de vuelo óptico.

15. Aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14 anteriores, que comprende además una interfaz de red para conectar el aparato o una de sus partes a una red de datos, en donde el aparato se conecta operativamente a la interfaz de red para enviar al menos uno de la forma de pulso entrante reconstruida, propiedades físicas determinadas del cuerpo objetivo e información de estado de dispositivo como información digital a la red de datos, en donde la interfaz de red está configurada preferiblemente para transmitir/recibir una señal/datos digitales entre el aparato y la red de datos, en donde la señal/datos digitales incluyen una orden operativa y/o información acerca del aparato o la red.

16. Instalación de recubrimiento para recubrir un cuerpo, comprendiendo la instalación de recubrimiento:

- una unidad de recubrimiento para aplicar una capa de recubrimiento al cuerpo objetivo (2);
- un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11-15 anteriores; y

- una unidad de evaluación adaptada para caracterizar un recubrimiento (2b) del cuerpo objetivo (2) que incluye la capa de recubrimiento aplicada de una forma sin contacto analizando la forma de pulso de THz entrante reconstruida de la radiación de THz entrante.

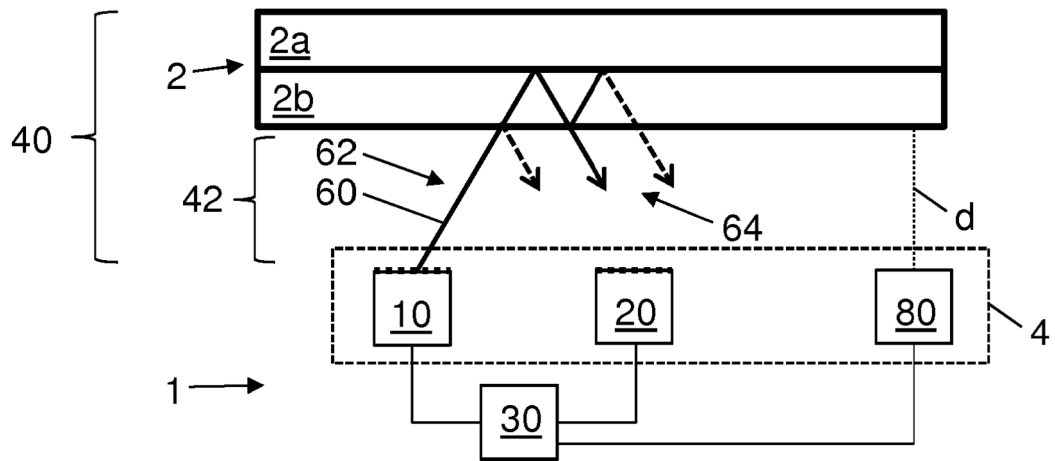


FIG. 1

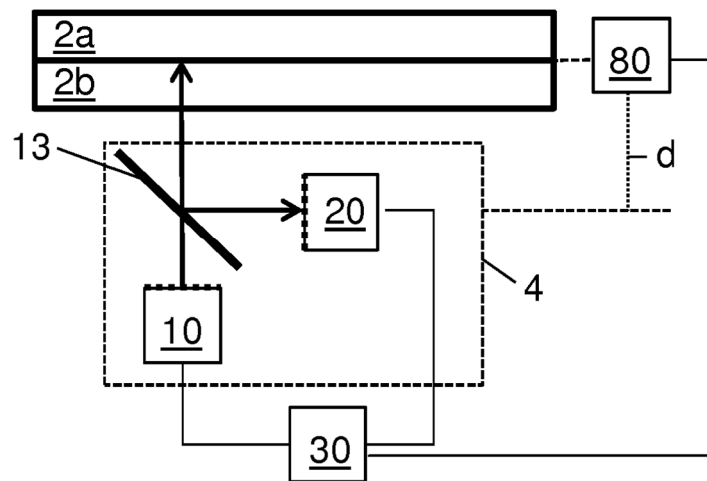


FIG. 2

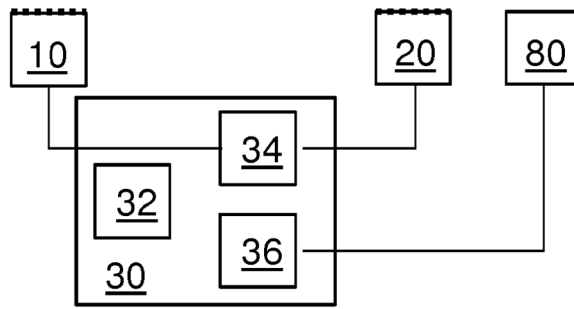


FIG. 3

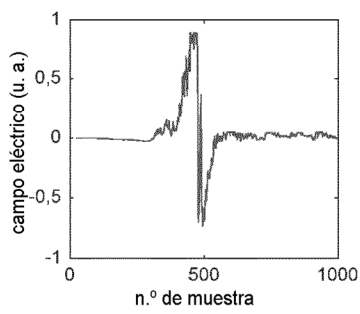


FIG. 8a

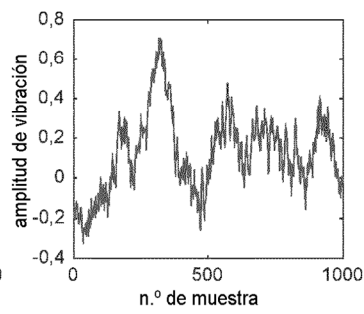


FIG. 8b

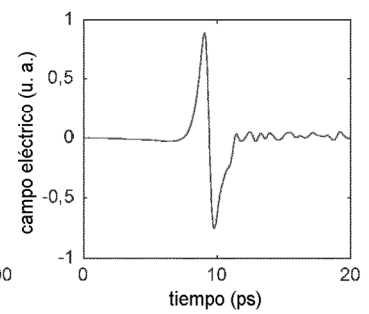


FIG. 8c

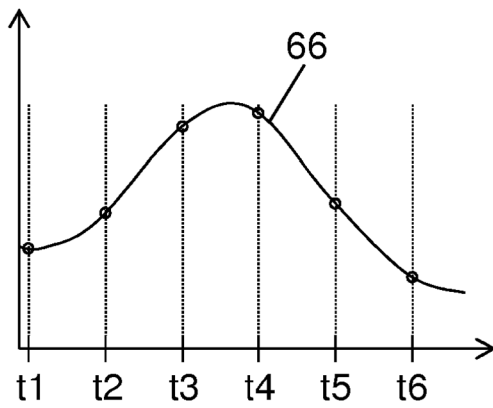


FIG. 4a

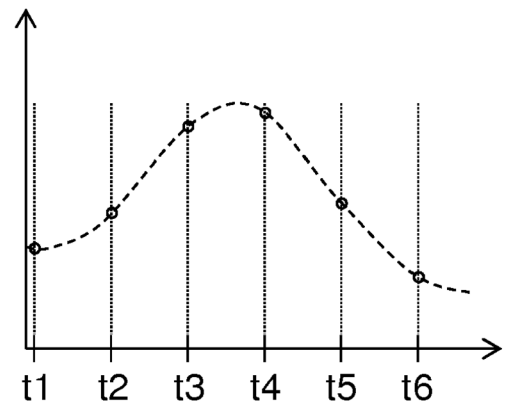


FIG. 4b

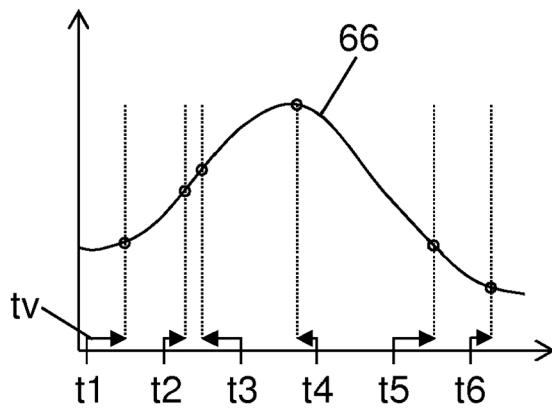


FIG. 5a

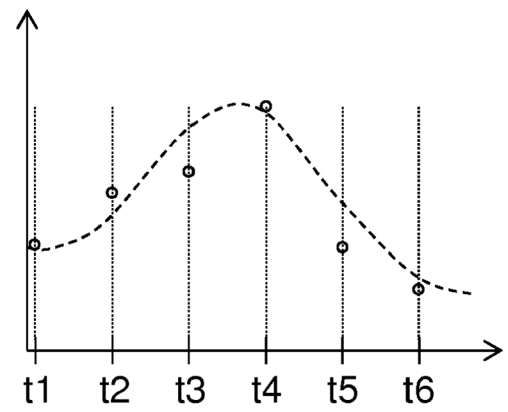


FIG. 5b

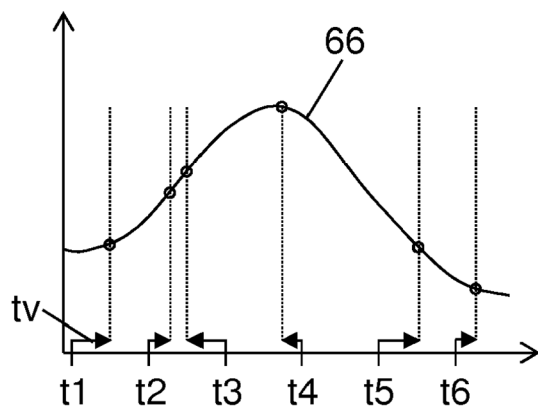


FIG. 6a

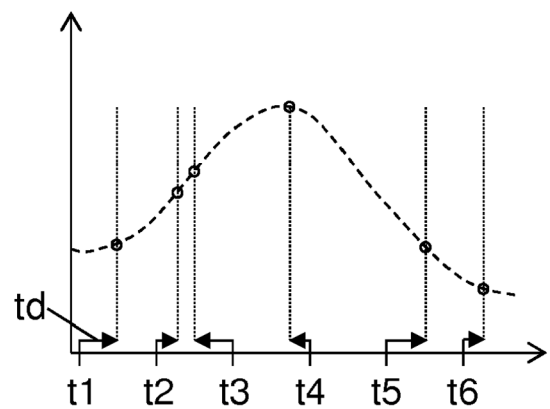


FIG. 6b

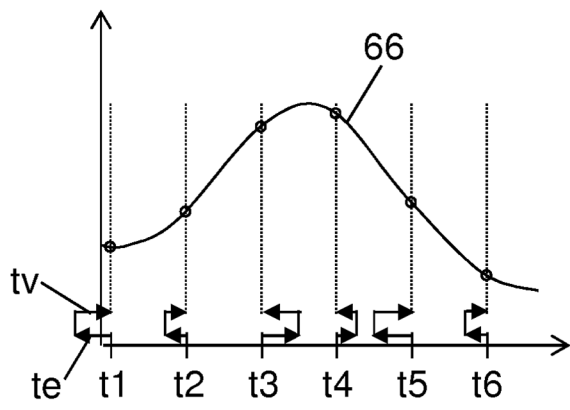


FIG. 7a

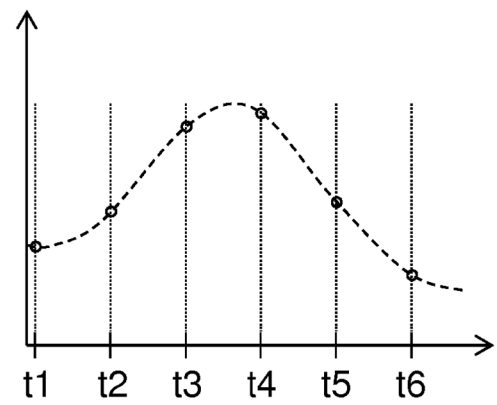


FIG. 7b

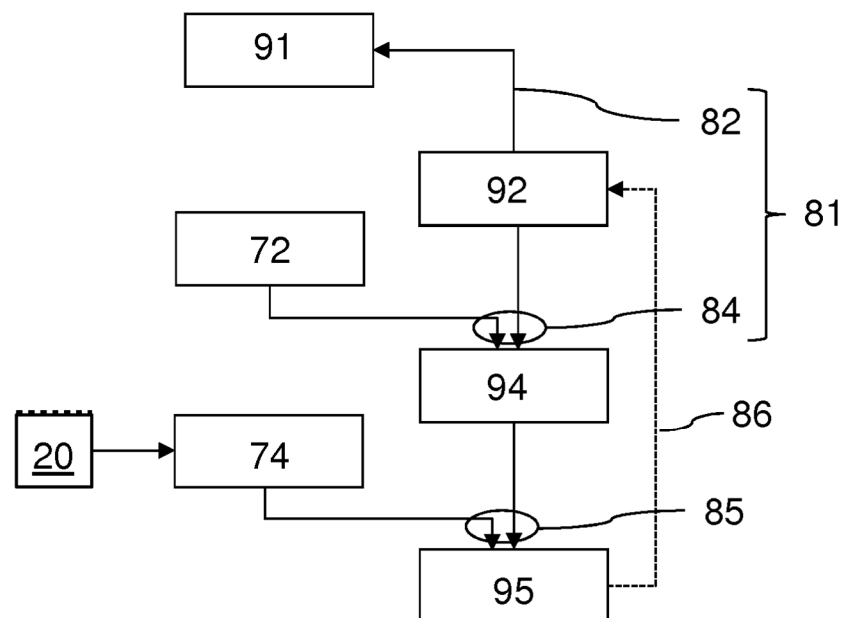


FIG. 9

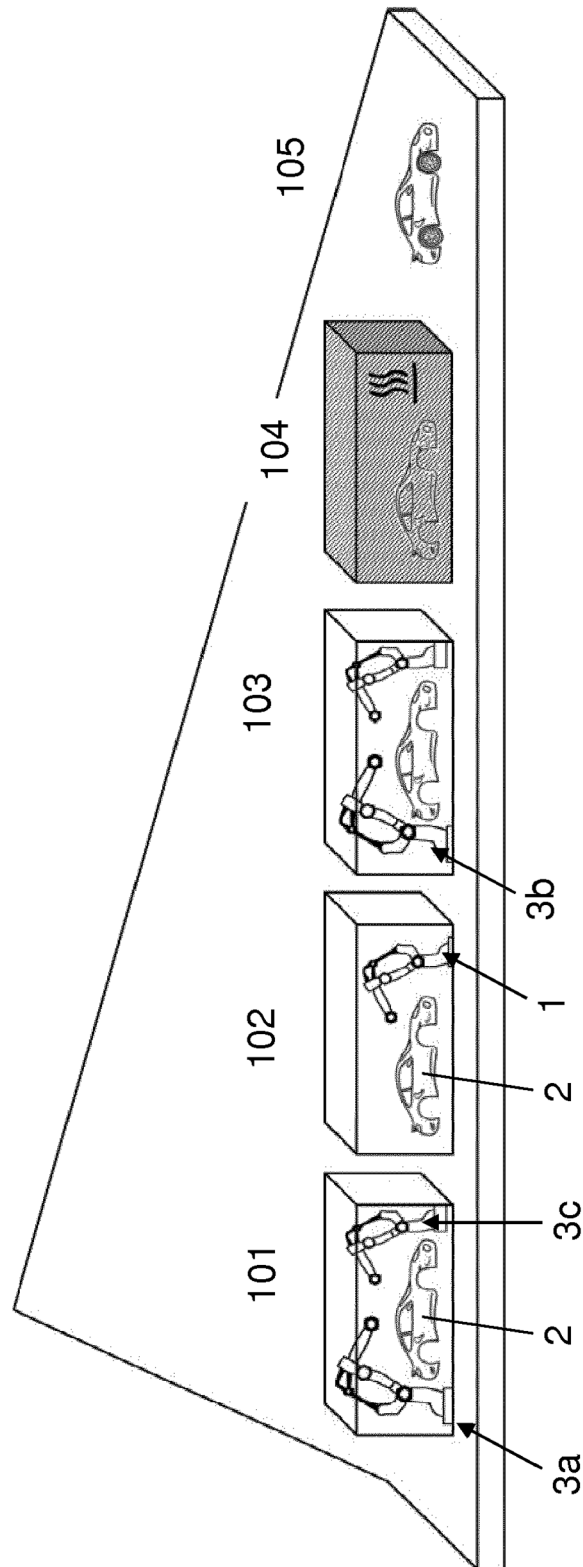


FIG. 10