



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 306 174**

51 Int. Cl.:
G01N 21/17 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **05758985 .5**

86 Fecha de presentación : **30.06.2005**

87 Número de publicación de la solicitud: **1769228**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **04.04.2007**

54 Título: **Método termoacústico de tomografía y tomógrafo termoacústico.**

30 Prioridad: **20.07.2004 AT A 1229/2004**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.11.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.11.2008

73 Titular/es: **Upper Austrian Research GmbH**
Hafenstrasse, 47-51
4020 Linz, AT
Universität Innsbruck

72 Inventor/es: **Burgholzer, Peter;**
Haltmeier, Markus y
Scherzer, Otmar

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 306 174 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 termoacústico de tomografía y tomógrafo termoacústico.

5 La invención se refiere a un método termoacústico de tomografía para la representación de un objeto, donde el objeto se estimula térmicamente por una fuente y las ondas acústicas provocadas por el estímulo térmico del objeto se detectan desde diferentes direcciones del objeto con al menos un detector y se reconstruye una imagen del objeto a partir de las ondas acústicas detectadas y la información de posición.

10 La invención también se refiere a un tomógrafo termoacústico para la representación de un objeto con al menos una fuente para el estímulo térmico del objeto, al menos un detector para la detección de las ondas acústicas provocadas por la estimulación del objeto, con un dispositivo para el movimiento mutuo del objeto y/o del al menos un detector y con un dispositivo para la reconstrucción del objeto a partir de las ondas acústicas detectadas dependiendo de la respectiva posición del objeto.

15 En el término objeto se incluyen las más diversas formaciones tridimensionales y bidimensionales.

Si se estimula de forma térmica un objeto semitransparente, a modo de ejemplo, con un pulso electromagnético corto, por la brusca dilatación térmica en el interior del objeto se genera una distribución de presión que desencadena una onda acústica. La presión sonora generada de este modo es proporcional a la distribución espacial de la energía electromagnética absorbida. La tomografía termoacústica reconstruye esa distribución espacial en el objeto a partir de las ondas sonoras medidas en el exterior del objeto. Ya que, a modo de ejemplo, los tejidos carcinógenos y tejidos sanos presentan coeficientes de absorción electromagnética muy diferentes, la tomografía termoacústica ofrece un buen contraste en la representación de estos dos tipos de tejido que, a modo de ejemplo, no se podrían conseguir con métodos por ultrasonidos. Además de la medicina, sin embargo, también existen otros ámbitos de aplicación para la tomografía termoacústica. En métodos termoacústicos de tomografía anteriores, para la detección de las ondas acústicas en el exterior del objeto se usan pequeños detectores acústicos idealmente con forma de punto que se mueven con respecto al objeto y finalmente se reconstruye a partir de la totalidad de los datos una imagen del objeto. Todos los métodos de reconstrucción anteriores se basan en modelos de aproximación. (Véase, a modo de ejemplo: R. A. Kruger, D. R. Reinecke, G. A. Kruger: Thermoacoustic computed tomography - technical considerations. Medical Physics, Volumen 26 Número 9, págs. 1832-1837, 1997; R. A. Kruger, W. L. Kiser, K. D. Millar, H. E. Reynolds: Thermoacoustic CT: Imaging Principles. Proceedings SPIE 3916, págs. 150-159, 2000).

Los métodos termoacústicos de tomografía en los que se usan detectores con forma de punto o series de tales detectores, que trabajan en el campo lejano de la fuente de ultrasonidos, también se describen en el artículo de Andreev V. G. *et al.*, "Detection of ultrawide-band ultrasound pulses in optoacoustic tomography" (IEEE transaction on ultrasonics, ferroelectrics and frequency control IEEE USA, Vol. 50, N° 10, octubre de 2003) y en el artículo de Oberheide U. *et al.*: "Two-dimensional detection of optoacoustic stress transients" (PROCEEDINGS OF THE SPIE, SPIE, BELLINGHAM, VA, US, Vol. 4618, 2002, páginas 99 a 105). En el uso de detectores con forma de punto o series de detectores con forma de punto se realiza una reconstrucción de los datos de la imagen a partir de medios esféricos, que no se puede realizar nunca de forma exacta. El motivo de esto se basa en que el dispositivo de medición con detectores pequeños no es compatible con la suposición de un modelo de detectores de punto de acuerdo con la que un detector de puntos se considera un detector de superficie infinitamente pequeño.

45 El documento US 5.840.023 A describe un método de formación de imágenes optoacústico para usos médicos, en el que el estímulo térmico del tejido humano se realiza mediante un láser. Para la detección de las ondas acústicas que parten del objeto se usa un detector pequeño o una serie de varios detectores pequeños. Para esto se pueden usar tanto detectores piezoeléctricos como ópticos.

50 El documento US 6.567.688 B1 muestra un método termoacústico de tomografía en el que se estimula tejido biológico con ayuda de microondas de forma térmica y las ondas sonoras resultantes se registran con ayuda de un transformador de ultrasonidos. Al contrario que la anterior patente, se trata de un método de exploración en tiempo real (en inglés: real time scanning method) y no de un método de reconstrucción. Además, se usa un detector relativamente pequeño o una serie de varios detectores que se pueden enfocar de forma artificial.

55 El documento US 6.633.774 B2 describe un sistema de formación de imágenes termoacústico para el estudio estructural de tejidos, que se estimula térmicamente por una fuente de radiación electromagnética. Un dispositivo giratorio de varios detectores detecta las ondas acústicas que parten del objeto. Se usan series de varios detectores pequeños. Con los datos registrados se reconstruye el objeto de forma aproximada. Para el estímulo también se pueden proporcionar varias fuentes de radiación que se sincronizan entre sí. Como detectores se usan elementos piezoeléctricos.

60 El objetivo de la presente invención consiste en proporcionar un método termoacústico de tomografía y un tomógrafo termoacústico mediante los que se une una calidad de imagen resolución óptimas con una complejidad admisible para la reconstrucción de los datos de imagen. Se tienen que poder usar en la medida de lo posible métodos de reconstrucción conocidos. Se deben evitar o disminuir las desventajas de métodos y sistemas conocidos.

El objetivo de acuerdo con la invención se resuelve desde el punto de vista de acuerdo con el método usando un detector con una magnitud que comprende al menos en una dimensión al menos $\sqrt{8}\cdot d$, y las ondas acústicas detectadas por el detector se integran al menos en una dirección por una longitud de al menos $\sqrt{8}\cdot d$, donde d indica la separación máxima de un punto del objeto que se tiene que representar del detector. Por tanto, en el método de acuerdo con la invención se usa un detector que presenta una magnitud que comprende al menos en una dimensión al menos $\sqrt{8}\cdot d$, de tal forma que las ondas acústicas detectadas con el detector se pueden integrar por esta longitud. Por la integración por esta dimensión del detector, a continuación, para la reconstrucción de la imagen del objeto se pueden usar métodos de cálculo que posibilitan una resolución muy elevada. La magnitud del detector posibilita la medición de toda la presión sonora que parte del objeto sobre el plano que contiene el detector.

Dependiendo de la forma del detector con la dimensión de acuerdo con la invención se pueden usar diferentes métodos matemáticos conocidos a partir de otros métodos de formación de imágenes. El detector se mueve de forma conocida alrededor del objeto o el objeto alrededor del detector y se registra un número correspondiente de datos, que permiten finalmente una reconstrucción del objeto. A diferencia del método de acuerdo con la invención, en métodos termoacústicos de tomografía convencionales, los datos de medición se interpretan en los detectores acústicos como datos de medición puntales. Esta distancia implica que la resolución de la reconstrucción está limitada físicamente por el tamaño de los detectores. Por el uso de detectores integrados de gran superficie se puede evitar esta distancia. En este caso, la resolución espacial solamente está limitada por la máxima frecuencia detectable de las ondas sonoras acústicas.

De acuerdo con una característica adicional de la invención se prevé que las ondas acústicas detectadas por el detector se pueden integrar en una dirección por una longitud de al menos $\sqrt{8}\cdot d$. Por el uso de tales detectores en forma de línea o en forma de franja se pueden usar métodos de reconstrucción matemáticos conocidos. A diferencia de detectores laminares, de hecho, tales detectores en forma de línea no se pueden girar en todas las direcciones del espacio, sino que se pueden conducir sobre un eje fijo o el objeto se puede girar alrededor de un eje fijo.

Además, evidentemente también es posible que los detectores tengan una gran superficie, comprendiendo el diámetro de la superficie al menos $\sqrt{8}\cdot d$.

Si los detectores están configurados de forma plana, la reconstrucción de la imagen del objeto se puede realizar, a modo de ejemplo, con ayuda de la transformación inversa de Radon. La transformación de Radon se conoce bien en el procesamiento digital de imágenes, por lo que existe una serie de métodos de cálculo e inversión que simplifican una reconstrucción de la representación del objeto. La transformación de Radon es una transformación integral lineal definida por Johann Radon en 1917 y denominada posteriormente con su nombre. La misma juega un papel fundamental en la tomografía computarizada para la reconstrucción de funciones bidimensionales a partir de proyecciones unidimensionales. Por el uso de los detectores de gran superficie de acuerdo con la invención, la inversión de la ecuación de onda tridimensional, que se usa con detectores con forma de punto para la reconstrucción, se puede reducir hasta la solución de un sistema de ecuaciones de onda unidimensionales.

Los detectores en forma de línea que se han mencionado anteriormente se pueden utilizar combinaciones de otros métodos de reconstrucción diferentes.

Para la reconstrucción de la imagen del objeto, se pueden procesar los valores detectados de varios detectores. Esto disminuye también la duración de la medición, ya que los movimientos necesarios de los detectores alrededor del objeto o viceversa disminuyen de forma correspondiente por el número de los detectores usados.

El método la mayoría de la veces se simplifica moviendo el al menos un detector alrededor del objeto. Un giro del objeto o un movimiento opuesto de los detectores y del objeto entre sí también es posible.

Ventajosamente se indica la imagen reconstruida del objeto sobre una pantalla o similares.

Cuando las ondas acústicas provocadas por el estímulo térmico del objeto se detectan en el intervalo de frecuencias de ultrasonidos hasta algunos GHz se puede obtener, por este motivo, usando detectores adecuados correspondientes, como, por ejemplo, piezo-películas particularmente delgadas o capas, una resolución local en el intervalo micrométrico. La resolución espacial de las imágenes del objeto solamente está limitada con el uso de detectores correspondientes por esta frecuencia de ultrasonidos máxima detectable.

Para conseguir mejores resultados de medición, el objeto se puede proporcionar incluso con medios de contraste para influir en el comportamiento de absorción. Como en otros métodos de formación de imágenes se pueden utilizar, a modo de ejemplo, medios de contraste habituales en medicina.

El objetivo de acuerdo con la invención también se resuelve por un tomógrafo termoacústico que se ha mencionado anteriormente, en el que el al menos un detector presenta al menos en una dimensión una extensión que comprende al menos $\sqrt{8}\cdot d$, donde d indica la separación máxima de un punto del objeto que se tiene que representar con respecto al detector. Por el uso de tales detectores con gran dimensión se consigue que la presión sonora global producida por el objeto se detecte sobre el plano del detector. De este modo, para la reconstrucción del objeto tridimensional también

ES 2 306 174 T3

se pueden usar métodos matemáticos conocidos, a modo de ejemplo, la transformación inversa de Radon, por lo que se pueden usar algoritmos de ordenador numéricos estables con, al mismo tiempo, resolución particularmente elevada del objeto reconstruido.

5 Los detectores se pueden configurar con forma de línea o de franja, comprendiendo la longitud del detector al menos $\sqrt{8}\cdot d$.

10 En el caso del uso de tales detectores alargados también se pueden disponer paralelos entre sí varios detectores en forma de línea o de franja.

Además, evidentemente, el detector también se puede configurar de forma laminar, comprendiendo el diámetro de la superficie al menos $\sqrt{8}\cdot d$.

15 Cuando el al menos un detector se realiza plano, se posibilita por un lado una construcción sencilla de los detectores y, por otro lado, el uso de la transformación inversa de Radon.

20 Por otro lado también es posible que el al menos un detector se realice abombado y, a modo de ejemplo, con forma de un semicilindro, donde en el método de reconstrucción se tiene que tener en cuenta esta forma del detector. La ventaja de tales detectores abombados consiste en que, con respecto a detectores realizados de forma plana, presentan menores dimensiones externas con una superficie del mismo tamaño. Sin embargo, por esto se complican ligeramente los métodos de reconstrucción matemáticos.

25 Ventajosamente, la frecuencia de corte superior del detector comprende varios GHz. Por una frecuencia de corte superior elevada de este modo se consigue una resolución particularmente elevada en el intervalo micrométrico.

30 El detector puede estar formado por un sensor piezoeléctrico, que, de acuerdo con el efecto piezoeléctrico, transforma las ondas sonoras incidentes directamente en señales eléctricas. Los materiales piezoeléctricos son, a modo de ejemplo, PVDF (floruro de polivinilideno o ZnO (óxido de cinc)). Tales materiales se pueden obtener en forma de película o como capas sobre material de sustrato con un grosor particularmente reducido en el intervalo desde micrométrico hasta incluso nanométrico. Por el grosor particularmente reducido se consigue una buena resolución local. Las películas están metalizadas y contactadas y, por tanto, también se pueden unir de forma sencilla con circuitos electrónicos posteriores, particularmente amplificadores.

35 Asimismo es posible realizar los detectores por otros dispositivos para la detección de ondas sonoras acústicas. A modo de ejemplo se pueden usar sensores ópticos, particularmente de fibra óptica, que se deforman por las ondas sonoras incidentes y, de este modo, provocan una modificación de las señales conducidas por la fibra óptica.

40 La fuente de estímulo puede estar formada por un láser, siendo particularmente adecuados los láseres de infrarrojos.

Como alternativa, el estímulo térmico del objeto tridimensional también se puede realizar por una fuente de microondas.

45 Para mejorar las características de propagación del sonido entre el objeto y el detector, el al menos un detector y el objeto se disponen ventajosamente en un medio de acoplamiento líquido. Para este medio de acoplamiento líquido se puede usar agua destilada o incluso aceite mineral.

Para la protección del detector, el mismo se puede proporcionar con una película protectora. Se tiene que tener en cuenta que la sensibilidad del detector no disminuya por esta película protectora.

50 Como dispositivo de movimiento para el movimiento del al menos un detector con respecto al objeto o viceversa se puede usar un motor paso a paso.

El dispositivo de reconstrucción está formado habitualmente por un ordenador.

55 Finalmente se puede proporcionar una pantalla para la representación de la imagen del objeto.

La presente invención se explica con más detalle mediante los dibujos adjuntos. En ellos se muestra:

60 En la Figura 1, un esquema modular de un tomógrafo termoacústico de acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención;

En la Figura 2, un detector en forma de línea de acuerdo con un ejemplo de realización de la presente invención;

65 En la Figura 3, un detector plano laminar con corte transversal circular;

En la Figura 4, un detector plano laminar con un corte transversal cuadrado;

ES 2 306 174 T3

En la Figura 5, una vista en perspectiva de un detector abombado de forma cóncava; y

En la Figura 6, la disposición de varios detectores en forma de línea con respecto al objeto tridimensional que se tiene que representar.

5

La Figura 1 muestra un tomógrafo termoacústico 1 para la representación de, a modo de ejemplo, un objeto tridimensional 2, a modo de ejemplo, una muestra de tejido. Por una fuente 3, a modo de ejemplo, un láser de pulso o una fuente de microondas, se estimula térmicamente el objeto 2. Las ondas acústicas 4 provocadas por el estímulo térmico en el objeto 2 se detectan por un detector 5 y las señales detectadas se suministran a un amplificador 6. Para conseguir un movimiento del objeto 2 con respecto al detector 5 se une un dispositivo de movimiento 7, a modo de ejemplo, un motor paso a paso, con el objeto 2 o el detector 5. Las señales que parten del amplificador 6 junto con las señales de control del dispositivo de movimiento 7 se suministran a un dispositivo 8 para la reconstrucción del objeto 2, que puede estar formado, a modo de ejemplo, por un dispositivo de ordenador correspondiente. Para el correspondiente control del estímulo térmico, la fuente de estímulo 3 también está unida con el dispositivo de reconstrucción 8. Finalmente, la imagen reconstruida del objeto 2 se puede representar sobre una pantalla 9. Para mejorar las características de propagación del sonido del objeto 2 hacia el detector 5, el objeto 2 y el detector 5 se disponen en un recipiente 10 con un medio de acoplamiento líquido 11. Este medio de acoplamiento líquido 11 puede estar formado por agua destilada o incluso un aceite mineral, que presente en la medida de lo posible buenas velocidades de propagación de sonido. De acuerdo con la invención, el detector 5, al menos en una dimensión tiene un tamaño de al menos $\sqrt{8} \cdot d$, donde d indica la separación máxima de un punto del objeto que se tiene que representar 2 del detector 5 (véase Figura 2). Evidentemente también se pueden disponer de forma adyacente varios detectores 5 para disminuir la duración de toma para el método de tomografía (no representado).

Si el objeto 2 es un objeto bidimensional 2, entonces es suficiente el giro alrededor de un eje. Si se estudia un objeto 2 tridimensional, el detector 5 se tiene que mover tangencialmente alrededor de la superficie del objeto 2 en todas las direcciones posibles o viceversa el objeto 2 se tiene que mover con respecto a los detectores 5. Para la reconstrucción del objeto 2 se pueden usar diferentes métodos conocidos, nuevos, sin embargo, también combinaciones de diversos métodos. A modo de ejemplo se hace referencia a la reconstrucción descrita por Köstli y Beard (K. P. Köstli, P. C. Beard: Two-dimensional photoacoustic imaging by use of Fourier transform image reconstruction and a detector with an anisotropic response. Applied Optics, 42(10), 2003). Con el uso de detectores planos laminares 5, la reconstrucción por transformación inversa de Radon bidimensional se puede realizar de modo particularmente adecuado y menos complejo.

La Figura 2 muestra un detalle en perspectiva de la posición del detector 5 con respecto al objeto 2. El detector 5 está configurado a modo de un detector en forma de línea, donde la medida 1 del detector 5 en una dimensión comprende al menos $\sqrt{8} \cdot d$, donde d indica la separación máxima de un objeto que se tiene que representar 2 con respecto al detector 5.

La Figura 3 muestra una variante de realización de un detector 5 en forma de un detector plano laminar con configuración circular, donde el diámetro D comprende al menos $\sqrt{8} \cdot d$.

La Figura 4 muestra una variante de un detector 5 en forma de un detector plano laminar con corte transversal cuadrado, donde la longitud l del cuadrado comprende al menos $\sqrt{8} \cdot d$.

45

Finalmente, la Figura 5 muestra una vista en perspectiva de un detector 5 realizado de forma abombada, donde el radio R del abombamiento puede ser diverso de forma correspondiente a las circunstancias e incluso al tamaño del objeto 2. Por el abombamiento del detector 5, las dimensiones externas son menores, por lo que el detector 5 se puede mover de forma más sencilla alrededor del objeto 2. El abombamiento, sin embargo, se tiene que tener en cuenta durante el cálculo de la reconstrucción.

50

Finalmente, la Figura 6 muestra la disposición de varios detectores en forma de línea 5 paralelos entre sí con separación del objeto 2. En esta realización, el objeto 2 se gira, a modo de ejemplo, alrededor de un eje fijo y las ondas acústicas que parten del objeto 2 se detectan por los detectores paralelos 5. Para cada ángulo de giro del objeto 2 se registra la presión sonora provocada por el estímulo térmico por los detectores 5 y a partir de los datos obtenidos se reconstruye finalmente la imagen del objeto 2.

55

El presente método y el presente dispositivo posibilitan la reconstrucción de imágenes de resolución particularmente alta de objetos con detectores como, por ejemplo, elementos piezoeléctricos o sensores ópticos con una gran frecuencia de corte. El método de tomografía termoacústico ofrece particularmente en la medicina nuevas posibilidades que no se pueden conseguir con los métodos actuales de formación de imágenes.

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Un método termoacústico de tomografía para la representación de un objeto (2), en el que el objeto (2) se estimula térmicamente por una fuente (3) y las ondas acústicas (4) provocadas por el estímulo térmico del objeto (2) se detectan desde diferentes direcciones del objeto (2) con al menos un detector (5) y a partir de las ondas acústicas (4) detectadas y la información de la posición se reconstruye una imagen del objeto (2), **caracterizado** porque se usa un detector (5) con una magnitud que comprende al menos en una dimensión $\sqrt{8}\cdot d$, y las ondas acústicas (4) detectadas por el detector (5) se integran al menos en una dirección por una longitud de al menos $\sqrt{8}\cdot d$, donde d indica la separación máxima de un punto del objeto que se tiene que representar (2) del detector (5).

10 2. El método de tomografía de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque las ondas acústicas (4) detectadas por el detector (5) se integran en una dirección a lo largo de la longitud (l) de al menos $\sqrt{8}\cdot d$.

15 3. El método de tomografía de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque las ondas acústicas (4) detectadas por el detector (5) se integran por una superficie, comprendiendo el diámetro (D) de la superficie al menos $\sqrt{8}\cdot d$.

20 4. El método de tomografía de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque la reconstrucción de la imagen del objeto (2) se realiza por la transformación inversa de Radon.

25 5. El método de tomografía de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque para la reconstrucción de la imagen del objeto (2) se procesan los valores detectados por varios detectores (5).

30 6. El método de tomografía de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) se mueve alrededor del objeto (2).

35 7. El método de tomografía de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque se muestra la imagen reconstruida del objeto (2).

40 8. El método de tomografía de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque las ondas acústicas (4) provocadas por el estímulo térmico del objeto (2) se detectan en el intervalo de frecuencias de hasta algunos GHz.

45 9. El método de tomografía de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque el objeto (2) se proporciona con medios de contraste para influir en el comportamiento de absorción.

50 10. Un tomógrafo termoacústico (1) para la representación de un objeto (2), con al menos una fuente (3) para el estímulo térmico del objeto (2), al menos un detector (5) para la detección de las ondas acústicas (4) provocadas por el estímulo del objeto (2), con un dispositivo (7) para el movimiento del objeto (2) y/o del al menos un detector (5) entre sí, y con un dispositivo (8) para la reconstrucción del objeto a partir de las ondas acústicas detectadas (4) dependiendo de la respectiva posición del objeto (2), **caracterizado** por que el al menos un detector (5) presenta al menos en una dimensión una extensión que comprende al menos $\sqrt{8}\cdot d$, donde d indica la separación máxima de un punto del objeto que se tiene que representar (2) del detector (5).

55 11. El tomógrafo (1) de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) está configurado con forma de línea o de franja, donde la longitud (l) del detector (5) comprende al menos $\sqrt{8}\cdot d$.

60 12. El tomógrafo (1) de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado** porque se disponen varios detectores (5) con forma de línea o de franja paralelos entre sí.

65 13. El tomógrafo (1) de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) se configura de forma laminar, comprendiendo el diámetro (D) de la superficie al menos $\sqrt{8}\cdot d$.

70 14. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) está realizado plano.

75 15. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) está realizado abombado de forma cóncava.

80 16. El tomógrafo (1) de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) está realizado con forma de un semicilindro.

85 17. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 16, **caracterizado** porque la frecuencia de corte superior del detector (5) comprende varios GHz.

ES 2 306 174 T3

18. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 17, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) está formado por un sensor piezoeléctrico.

5 19. El tomógrafo (1) de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) está formado por una película o una capa de fluoruro de polivinilideno.

20. El tomógrafo (1) de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) está formado por una película o capa de óxido de cinc.

10 21. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 17, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) está formado por un sensor óptico, particularmente una fibra óptica.

15 22. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 21, **caracterizado** porque al menos una fuente de estímulo (3) está formada por un láser, particularmente un láser de infrarrojos.

23. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 21, **caracterizado** porque al menos una fuente de estímulo (3) está formada por una fuente de microondas.

20 24. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 23, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) y el objeto (2) se disponen en un medio de acoplamiento líquido (11).

25 25. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 24, **caracterizado** porque el al menos un detector (5) está provisto de una película protectora.

26. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 25, **caracterizado** porque el dispositivo de movimiento (7) está formado por un motor paso a paso.

30 27. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 26, **caracterizado** porque el dispositivo de reconstrucción (8) está formado por un ordenador.

35 28. El tomógrafo (1) de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 27, **caracterizado** porque se proporciona una pantalla (9) para la representación de la imagen del objeto (2).

40

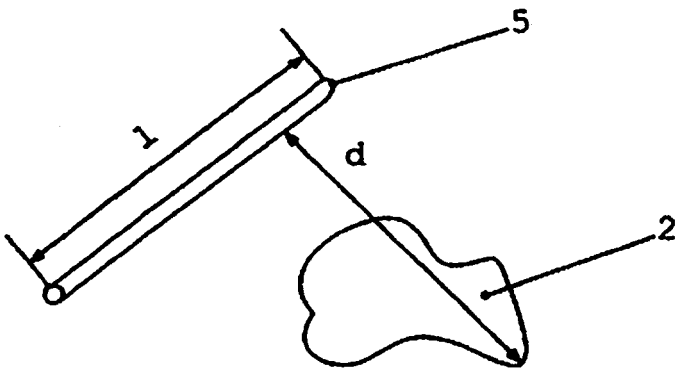
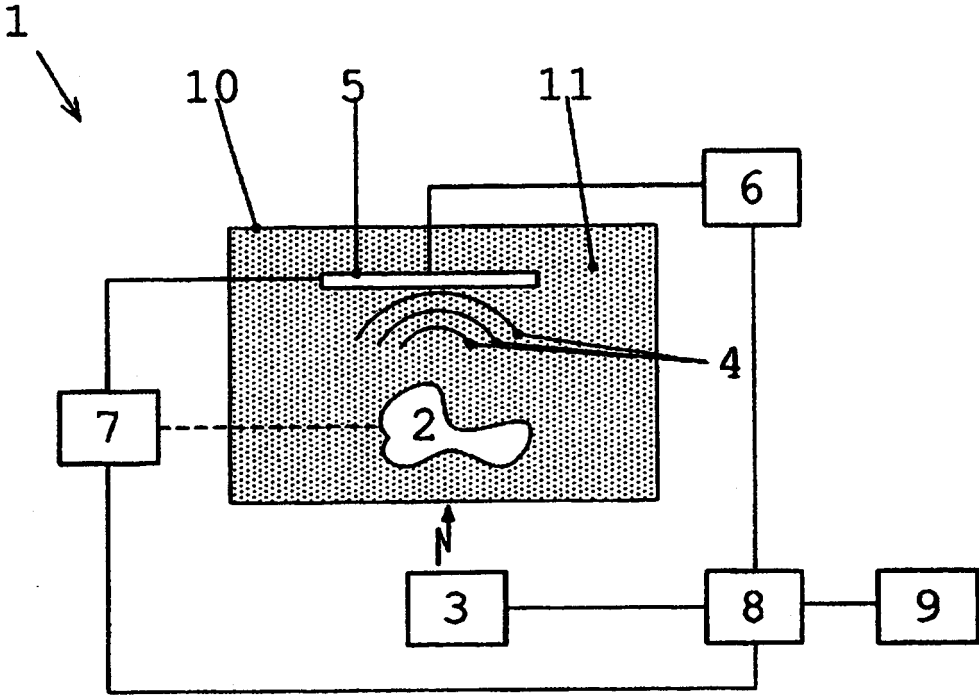
45

50

55

60

65



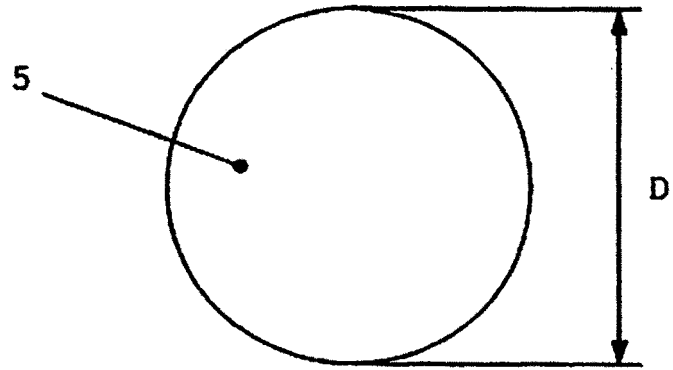


Fig. 3

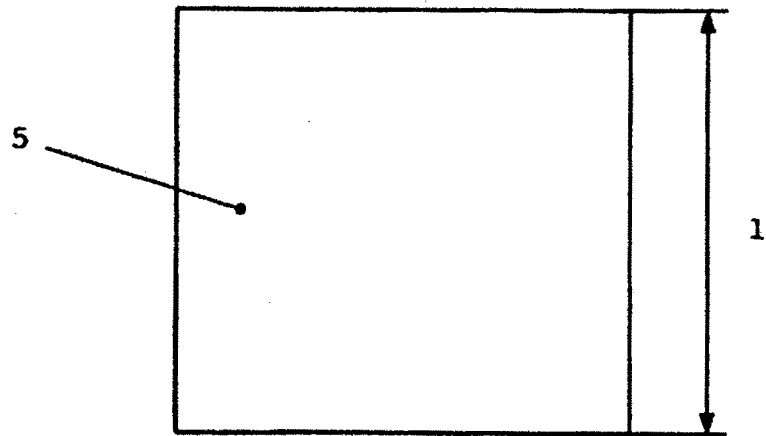


Fig. 4

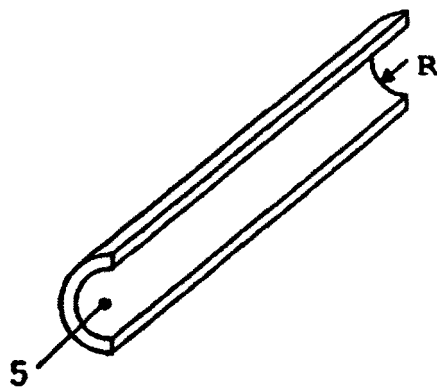


Fig. 5

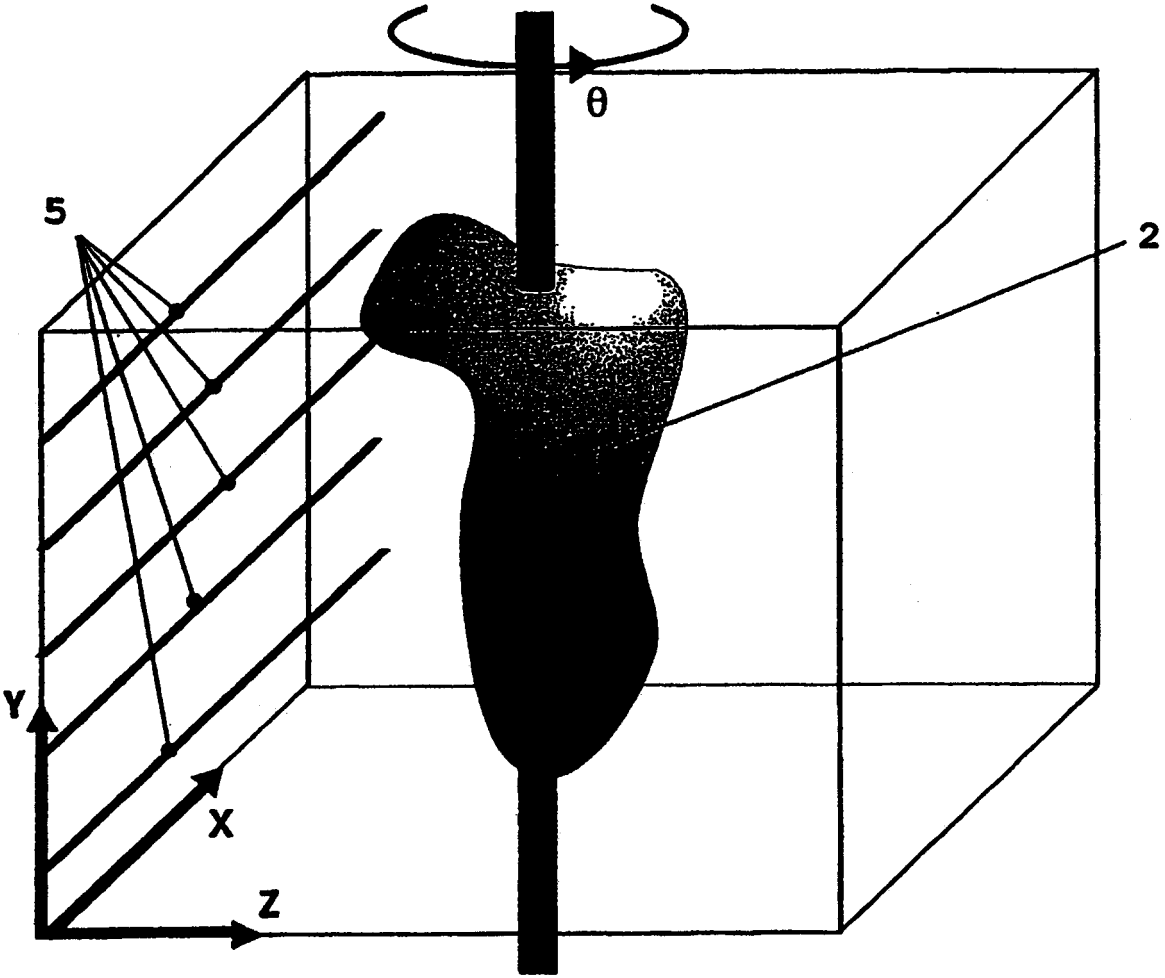


Fig. 6