

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 986**

51 Int. Cl.:  
**G01N 21/47** (2006.01)  
**A61B 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07733789 .7**  
96 Fecha de presentación: **28.06.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2049885**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.04.2009**

54 Título: **Aparato y método para formar imágenes de un objeto oculto en un artículo**

30 Prioridad:  
**28.06.2006 GB 0613165**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**10.09.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**10.09.2012**

73 Titular/es:  
**THE UNIVERSITY OF WARWICK  
UNIVERSITY HOUSE  
COVENTRY CV4 8UW, GB**

72 Inventor/es:  
**GAN, Tat Hean;  
HUTCHINS, David, Arthur y  
DIAMOND, Geoffrey, Graham**

74 Agente/Representante:  
**de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 386 986 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

Aparato y método para formar imágenes de un objeto oculto en un artículo.

El presente invento se refiere a un aparato para la formación de imágenes y a un método para investigar una estructura interna de un artículo. El invento se refiere a un aparato y método para la formación de imágenes de objetos ocultos.

## 5 ANTECEDENTES

Se han utilizado tecnologías existentes, tales como los sistemas de formación de imágenes por rayos X para investigar la estructura interna y las propiedades de un conjunto de objetos incluyendo productos alimenticios y el cuerpo humano. Sin embargo, los sistemas que emplean rayos X (u otra radiación ionizante) sufren de un conjunto de cuestiones relacionadas con la salud y la seguridad. Se sabe que la radiación ionizante es capaz de provocar daños en los tejidos y otros materiales. Consiguientemente, el equipamiento que emplea radiación X debe estar provisto de suficiente apantallamiento para asegurar que el personal operativo y otro tipo de personal no estén expuestos a la radiación.

Además, el tamaño de un sistema de rayos X es grande, y en consecuencia no es apropiado en ciertas situaciones de fabricación. Otro inconveniente de los sistemas de rayos X es el coste relativamente elevado de un sistema de formación de imágenes por rayos X.

15 Los sistemas de formación de imágenes de terahercios han sido también empleados para la formación de imágenes de una estructura interna de un artículo. Sin embargo, la formación de imágenes de muestras que contienen agua utilizando estos sistemas es problemática debido a la elevada atenuación de las señales de frecuencia en terahercios por las moléculas de agua.

20 El documento US 6542772 B2 en la realización de la fig. 2 que incluye los detalles de la detección con bloqueo descrita con referencia a las figs. 1, 1A que se aplica igualmente a la realización de la fig. 2 define un aparato y método en el que se ha realizado una pluralidad de mediciones de transmisión entre puntos fuente 31, 33, 35, 37 y puntos detectores 39, 41, 43, 45. De este modo puede ser detectado un objeto oculto 9 en un artículo 8 dispersor por lo que las señales de detección son mejoradas utilizando una función detectora de autocorrelación, en particular una función detectora con bloqueo, que comprende una variación periódica de amplitud de las fuentes y una señal periódica de referencia aplicada a los detectores para obtener una señal heterodina con una relación de señal a ruido mejorada.

25 En un primer aspecto del presente invento se ha proporcionado un aparato para inspeccionar un artículo según la reivindicación 1.

30 El aparato de acuerdo con las realizaciones del invento tiene la ventaja de que es capaz de proporcionar una imagen de una estructura interna de un artículo sin exponer el artículo a una radiación ionizante. Además, el aparato de acuerdo con las realizaciones del invento no requiere pantallas u otras precauciones contra la radiación ionizante asociadas con las técnicas anteriores tales como la formación de imágenes con rayos X.

Además, el aparato de acuerdo con las realizaciones del invento tiene la ventaja de ser menos costoso que los sistemas de formación de imágenes por rayos X. Las realizaciones del invento tienen además la ventaja de que requieren menos energía que los sistemas de formación de imágenes por rayos X y son sustancialmente más fáciles de transportar.

35 Preferiblemente, la señal de referencia es una señal periódica que tiene la misma frecuencia que la señal de accionamiento. Preferiblemente, la amplitud de la señal de referencia corresponde a la amplitud de la señal de accionamiento.

El aparato puede estar configurado para poner en práctica una función homodina entre la señal de referencia y la señal detectora para generar por ello el valor de diferencia.

40 Preferiblemente la señal de referencia corresponde sustancialmente a la señal de accionamiento.

En las realizaciones del invento, la señal detectora es combinada con una señal de referencia que corresponde a la señal de accionamiento para generar de este modo una señal correspondiente a la diferencia en amplitud entre la señal de accionamiento y la señal detectora.

45 El aparato está configurado para poner en práctica una función de autocorrelación u otra función de bloqueo entre la señal de referencia y la señal detectora para generar así el valor de diferencia.

El uso de una señal de referencia que tiene la misma frecuencia que la señal de accionamiento tiene la ventaja de que cualesquiera variaciones en la frecuencia de la señal de accionamiento son reflejadas exactamente en la variación de la señal de referencia. Así, el valor de diferencia puede ser hecho sustancialmente independiente de variaciones en la frecuencia de la señal de accionamiento. Las variaciones en la frecuencia de la señal de accionamiento pueden surgir por

ejemplo debido a variaciones en la temperatura de la electrónica asociada con el aparato.

Alternativa o adicionalmente la señal de referencia puede ser una señal de referencia periódica que tiene una frecuencia diferente de la señal de accionamiento.

5 El aparato puede estar configurado para poner en práctica una función heterodina entre la señal de referencia y la señal detectora para generar así el valor de diferencia.

Así, en las realizaciones del invento, la señal detectora es combinada con una señal de referencia que tiene una frecuencia diferente que la señal de accionamiento. En las realizaciones del invento la señal combinada es hecha pasar a través de un filtro pasa bajos dispuesto para dejar pasar una señal de una frecuencia de golpeo o latido correspondiente a la diferencia entre la frecuencia de la señal de referencia y la frecuencia de la señal detectora.

10 Preferiblemente el haz de radiación electromagnética corresponde a la radiación electromagnética que tiene una longitud de onda del orden de 700 a 2000 nm. Esta gama será denominada en lo sucesivo como radiación "cercana a los infrarrojos" o "NIR".

15 Esta gama de longitudes de onda corresponde a una gama en la que muchos materiales son relativamente transparentes a la radiación electromagnética. En otras palabras, esta gama de longitudes de onda corresponde a una gama en la que una cantidad suficiente de radiación puede ser transmitida a través de una muestra para permitir que la inspección de una estructura interna de la muestra sea hecha en un período razonable de tiempo.

20 Esta gama de longitud de onda también corresponde a longitudes de onda en las que el agua es relativamente transparente a la radiación electromagnética. Así, es posible la formación de imágenes de la estructura interna de materiales que contienen agua tales como materiales biológicos. Así, el aparato de acuerdo con las realizaciones del invento tiene la ventaja, sobre técnicas anteriores tales como las técnicas de formación de imágenes de terahercios (THz), de que se pueden formar imágenes de los materiales que contienen agua. Las señales electromagnéticas en la gama THz de frecuencias son fuertemente absorbidas por el agua, dificultando la formación de imágenes de la estructura interna de materiales biológicos. Mientras los sistemas THz han demostrado capacidad para proporcionar contraste entre materiales secos, tales como entre papel sin tinta sobre él y el papel con tinta sobre él, no han sido capaces de demostrar capacidad para proporcionar contraste en materiales biológicos.

25 A la inversa, los sistemas de formación de imágenes por rayos X han demostrado capacidad para proporcionar contraste en materiales biológicos, pero no han sido capaces de proporcionar contraste en muestras con concentraciones relativamente pequeñas de un material diferente. Por ejemplo, los sistemas de formación de imágenes por rayos X son incapaces de distinguir entre papel con tinta sobre él y papel sin tinta sobre él.

30 La gama de frecuencias desde 700 a aproximadamente 2000 nm tiene la ventaja de que el calentamiento de una muestra cuando la radiación electromagnética pasa a través de la muestra no ocurre en una magnitud significativa.

Las realizaciones del invento tienen la ventaja de ser capaces de distinguir (es decir, proporcionar contraste que permite la discriminación entre) quistes y tumores en materiales biológicos.

35 En el caso de un quiste, siendo esencialmente un saco llenado por agua, el quiste no dispersa o difracta la señal electromagnética, sino que en su lugar atenúa la señal. En el caso de un tumor o cáncer, que tiene una estructura celular en una escala del orden de 1  $\mu\text{m}$ , tiene lugar dispersión o difracción de la señal electromagnética. Esta diferencia en interacción entre la muestra y la radiación incidente permite una determinación más exacta de la naturaleza de una característica (tal como un quiste o un tumor) en una muestra biológica que se ha de realizar. Así, el aparato según las realizaciones del invento puede ser utilizado en la detección y caracterización de quistes, tumores y otras características biológicas de un cuerpo. La importancia de ser capaz de distinguir entre quistes y tumores es importante para permitir a los médicos determinar la naturaleza y urgencia relativa de un procedimiento médico con respecto a un paciente dado.

40 Las realizaciones del invento son por ello de una utilidad potencial grande en la selección e investigación de pacientes.

45 El haz de radiación electromagnética puede corresponder a una radiación electromagnética que tiene una longitud de onda del orden de 700 a 1000 nm. En algunas realizaciones el haz de radiación electromagnética corresponde a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda del orden de 800 a 900 nm.

Preferiblemente la variación periódica de amplitud corresponde a una señal de onda cuadrada.

Alternativamente o además la variación periódica de amplitud puede corresponder a una señal de onda sinusoidal.

El aparato puede ser operable para mover el detector con respecto al artículo que ha de ser inspeccionado.

Alternativa o adicionalmente, el aparato puede ser operable para mover el artículo que ha de ser inspeccionado con

respecto al detector.

Esto tiene la ventaja de que la inspección de una pluralidad de áreas de una muestra puede ser realizada sin la necesidad de prever una pluralidad correspondiente de detectores. Así, el detector puede ser movido a un área de la muestra en la que es deseable inspeccionar la muestra, y una medición hecha de una señal transmitida por la fuente.

- 5 En algunas realizaciones del invento, la posición relativa de la fuente con respecto al detector permanece sustancialmente inalterada si el detector es movido con respecto a la muestra o la muestra es movida con respecto al detector.

Preferiblemente el detector comprende un elemento fotodetector.

Más preferiblemente, el detector comprende una agrupación de elementos fotodetectores.

- 10 Esta característica tiene la ventaja de que puede realizarse la recogida en paralelo de datos. En otras palabras, la detección de radiación electromagnética desde la fuente que ha interactuado con el artículo que ha de ser inspeccionado puede ser hecha en una pluralidad de posiciones separadas espacialmente de modo sustancial al mismo tiempo. Esto tiene la ventaja de que permite que los datos sean recogidos desde una pluralidad de posiciones separadas espacialmente más rápidamente que en el caso de recogida en serie de datos. Por recogida en serie de datos se quiere expresar que se recogen datos desde una posición espacial, y subsiguientemente desde una segunda posición espacial.

- 15 La agrupación puede ser una agrupación lineal. Alternativamente la agrupación puede ser una agrupación plana.

Una agrupación plana tiene la ventaja de que los datos pueden ser obtenidos sobre un área bidimensional sin un requisito de mover el detector o el artículo bajo inspección.

- 20 El aparato puede estar configurado para funcionar en un modo de transmisión por lo que el detector está dispuesto para detectar un haz de radiación electromagnética transmitido a través del artículo que ha de ser inspeccionado desde un lado del artículo al otro, estando previsto el detector en un lado de la muestra sustancialmente opuesto a un lado en el que está prevista la fuente.

Alternativamente o además el aparato puede estar configurado para funcionar en un modo de reflexión por lo que el detector está dispuesto para detectar un haz de radiación electromagnética reflejada por el artículo que ha de ser inspeccionado, estando previsto el detector sustancialmente en el mismo lado del artículo que la fuente.

- 25 Por reflejada está incluida la reflexión desde una superficie exterior del artículo así como la reflexión desde un volumen interior del artículo tal como una interfaz entre una matriz y una partícula embebida. Los expertos en la técnica comprenderán que el modo de funcionamiento por reflexión incluye por ello la detección de radiación electromagnética que ha sido transmitida a través de al menos una parte del artículo bajo inspección, y no está limitada solo a la detección de radiación electromagnética reflejada desde una superficie exterior del artículo.

- 30 En una variación del modo de funcionamiento de reflexión, en algunas realizaciones del invento hay previstos uno o más elementos reflectantes para reflejar la radiación electromagnética transmitida a través del espécimen de nuevo a través del espécimen a un detector previsto sustancialmente en el mismo lado del espécimen que la fuente.

El aparato puede ser configurable para funcionar tanto en un modo de reflexión como en un modo de transmisión.

El aparato puede ser configurable para funcionar en un modo de reflexión y en un modo de transmisión simultáneamente.

- 35 La fuente puede estar configurada para emitir radiación electromagnética de una pluralidad de longitudes de onda.

El detector puede estar configurado para detectar radiación electromagnética de una pluralidad de longitudes de onda.

Puede preverse una pluralidad de detectores, estando configurado cada detector para detectar radiación electromagnética de una longitud de onda o gama de longitudes de onda respectivas diferentes.

- 40 Esta característica tiene la ventaja de que el aparato puede ser utilizado para medir una cantidad de radiación absorbida por una muestra como una función de longitud de onda de la radiación sustancialmente de manera simultánea.

El detector puede comprender un filtro sintonizable.

- 45 Esto tiene la ventaja de que el mismo detector puede ser utilizado para medir la cantidad de radiación que incide sobre el detector de cada una de una pluralidad de longitudes de onda o gama de longitudes de onda. Es decir, realizando una pluralidad de mediciones de una cantidad de radiación electromagnética detectada por el detector, y cambiar las características del filtro entre mediciones, pueden ser determinadas las cantidades relativas de atenuación de una señal por la muestra como una función de la longitud de onda.

Al menos una de dichas longitudes de onda puede corresponder a una absorción característica de longitud de onda de una muestra.

5 Esta característica tiene la ventaja de que puede realizarse el análisis de una sustancia química u otra composición de un material. Es decir, el aparato puede ser usado para ayudar en una determinación de si un material, elemento o compuesto particular está presente en un artículo bajo inspección.

La fuente puede ser una fuente láser. Las fuentes láser tienen la ventaja de que no se requiere la colimación de un haz de radiación procedente de la fuente. En realizaciones del invento se ha proporcionado un haz láser en forma de una línea, siendo explorada la línea a través de la muestra para obtener por ello una imagen de un área en sección transversal de la muestra, de forma similar a una tecnología de escaneado de código de barras por láser.

10 En algunas realizaciones del invento se ha empleado una única fuente tal como un LED o un láser de estado sólido, en combinación con una lente cilíndrica con el fin de generar un haz lineal con una distribución de intensidad relativamente plana. En otras palabras, la distribución de intensidad es sustancialmente no Gaussiana.

Al menos uno, o bien la fuente, o bien el detector puede comprender un cable de fibra óptica.

15 La fuente puede estar provista con un cable de fibra óptica, estando dispuesto el cable para dirigir el haz de radiación electromagnética sobre el artículo que ha de ser inspeccionado.

Alternativa o adicionalmente el detector puede estar provisto con un cable de fibra óptica dispuesto para dirigir la radiación electromagnética desde la muestra sobre el detector.

En un segundo aspecto del invento se ha proporcionado un método de inspeccionar un artículo según la reivindicación 12.

20 Preferiblemente el haz de la fuente corresponde a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda del orden de 700 a 2000 nm.

Más preferiblemente, el haz de la fuente corresponde a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda del orden de 700 a 1000 nm.

Las realizaciones del invento serán descritas a continuación con referencia a las figuras adjuntas en las que:

La fig. 1 muestra una ilustración esquemática del aparato de acuerdo con una primera realización del invento;

25 La fig. 2 muestra una ilustración esquemática del aparato de acuerdo con la primera realización del invento;

La fig. 3 muestra una ilustración esquemática del aparato de acuerdo con una segunda realización del invento;

La fig. 4 muestra una ilustración esquemática del aparato de acuerdo con una tercera realización del invento;

La fig. 5 muestra (a) una imagen obtenida de una muestra utilizando el aparato de acuerdo con una realización del invento y (b) valores de elementos de imagen o píxeles correspondientes a un área de la imagen;

30 La fig. 6 muestra (a) una imagen obtenida de una muestra diferente utilizando el aparato de acuerdo con una realización del invento y (b) valores de elementos de imagen o píxeles correspondientes a un área de la imagen;

La fig. 7 es una ilustración esquemática de un modo de operación de reflexión del aparato de acuerdo con la segunda realización;

La fig. 8 muestra una serie de imágenes correspondientes a un primer ejemplo;

35 La fig. 9 muestra una serie de imágenes correspondientes a un segundo ejemplo;

La fig. 10 muestra una serie de imágenes correspondientes a un tercer ejemplo;

La fig. 11 muestra una serie de imágenes correspondientes a un cuarto ejemplo; y

La fig. 12 muestra una serie de imágenes correspondientes a un quinto ejemplo.

40 De acuerdo con una primera realización del invento, el aparato 100 para inspeccionar una muestra es sustancialmente como se ha mostrado esquemáticamente en la fig. 1. El aparato está configurado para funcionar en un modo homodino. En otras palabras, la señal de accionamiento y la señal de referencia son proporcionadas por el mismo generador de señales.

El aparato 100 comprende un dispositivo de cálculo 105, un generador 110 de una señal de referencia (accionamiento), un

amplificador 115 de una señal de referencia (accionamiento), una fuente de radiación 120, un detector de radiación 125, un amplificador y acondicionador 130 de señal del detector y un módulo 135 de tratamiento de señal.

5 El generador 110 de la señal de referencia está configurado para generar una onda cuadrada periódica que tiene una frecuencia de 10 MHz. Se apreciará que otras frecuencias también son útiles. En algunas realizaciones la onda cuadrada tiene una frecuencia periódica de entre 1 MHz y 500 MHz.

En algunas realizaciones del invento el dispositivo de cálculo 105 está configurado para generar la señal de referencia en vez de un generador 110 de señal de referencia separado.

10 La fuente de radiación 120 de acuerdo con la primera realización es un dispositivo de diodo fotoemisor de estado sólido (LED) configurado para emitir radiación electromagnética con una longitud de onda de alrededor de 900 nm. Otras longitudes de onda también son útiles.

El detector de radiación 125 es un detector de estado sólido que tiene dos agrupaciones dimensionales de elementos detectores. De acuerdo con la primera realización los elementos detectores son diodos de estado sólido.

15 Otros elementos detectores también son útiles. En algunas realizaciones los detectores son detectores CMOS. En otras realizaciones del invento se han usado detectores CCD. En algunas realizaciones del invento, se ha usado cualquier cámara de infrarrojos apropiada disponible comercialmente.

En el caso de que se hayan usado agrupaciones bidimensionales de elementos detectores, puede preverse una lente para proyectar una imagen de la muestra sobre los elementos detectores.

20 El detector 125 tiene un filtro pasa bandas óptico previsto para permitir que solo la radiación que tiene una longitud de onda de sustancialmente 900 nm sea incidente sobre la agrupación de diodos. También son útiles los filtros pasa bandas correspondientes a otras longitudes de onda.

También son útiles filtros pasa bandas ópticos variables previstos para transmitir longitudes de onda de un valor o gama de valores diferentes. También es útil una red de difracción. También es útil una red de difracción ajustable.

El detector 125 está configurado para generar una señal detectora correspondiente a la variación de amplitud de la radiación electromagnética detectada por cada uno de los elementos del detector 125.

25 El amplificador y acondicionador 130 está dispuesto para procesar la señal generada por el detector 125 antes de que sea hecha pasar al módulo 135 de tratamiento de la señal.

El amplificador y acondicionador 130 realiza una función precursora al modulo 135 de tratamiento de la señal y está configurado para eliminar ruidos extraños.

30 El amplificador y acondicionador 130 es un filtro pasa bandas eléctrico sintonizado a la señal de referencia generada por el generador 110 de la señal de referencia. El amplificador y acondicionador 130 tiene dos funciones principales.

En primer lugar, realiza un filtrado relativamente basto de la señal detectora antes del proceso de recuperación de la señal principal (autocorrelacion) realizado por el modulo 135 de tratamiento de la señal.

En segundo lugar, el amplificador y acondicionador 130 elimina armónicos que de otra manera interferirían con la autocorrelacion realizada por el modulo de tratamiento de la señal.

35 El modulo 135 de tratamiento de la señal está provisto con una alimentación de la señal generada por el generador 110 de la señal de referencia y una alimentación de la señal detectora después del tratamiento por el amplificador y acondicionador 130. El módulo 135 de tratamiento de la señal está configurado para realizar una autocorrelacion de las dos señales y para producir una salida correspondiente a una diferencia en amplitud de las dos señales para cada uno de los elementos del detector 125. En otras palabras, el modulo 135 de tratamiento de la señal está configurado para proporcionar una salida que varía de manera correspondiente a las variaciones en la amplitud de la señal electromagnética hecha pasar a través de una parte de la muestra desde la fuente.

40 La autocorrelacion y otras técnicas de detección con bloqueo tienen la ventaja de permitir obtener datos sustancialmente libres de ruido. Es decir, el aparato es capaz de filtrar del detector frecuencias de señal que no corresponden a la señal de referencia. Esto permite que se haga una comparación más precisa de las amplitudes relativas de la señal de referencia y de la señal detectora.

45 Como la diferencia en amplitud entre la señal de referencia y la señal detectora es pequeña, pequeñas técnicas de recuperación de señal tales como la autocorrelacion y otras técnicas de detección con bloqueo proporcionan un medio valioso para determinar la diferencia en amplitud entre las señales, y por ello la grabación de una variación en la amplitud

de la señal electromagnética hecha pasar a través de una parte de la muestra.

Se apreciará que la señal de referencia y la señal detectora son señales de la misma frecuencia, y por lo tanto otras técnicas homodinas también son útiles para determinar una diferencia en amplitud de las dos señales.

5 En algunas realizaciones del invento, se han utilizado técnicas heterodinas. En algunas realizaciones del invento se ha utilizado una señal de referencia de una frecuencia diferente a la señal fuente.

En algunas realizaciones del invento, la señal de referencia es mezclada con la señal detectora para generar una señal de golpeo o latido. Las variaciones en la amplitud de la señal de golpeo pueden a continuación ser usadas para medir variaciones en la amplitud de la señal detectora.

10 En algunas realizaciones del invento, se ha utilizado una señal de referencia correspondiente a frecuencias armónicas de la señal de accionamiento. Esto permite que el análisis armónico sea realizado. Esto permite que se determine información adicional acerca de un artículo bajo inspección.

15 En algunas realizaciones del invento que emplean técnicas homodinas la señal de referencia (accionamiento) esta configurada para proporcionar una señal de frecuencia de barrido. Es decir, la frecuencia periódica de la señal de referencia (si la señal de referencia corresponde a una señal de onda cuadrada, una señal de onda sinusoidal o cualquier otra señal adecuada) es variada en función del tiempo. En algunas realizaciones del invento la señal de referencia es un sonido agudo o de alta frecuencia. Pueden también emplearse otras técnicas para mejorar la calidad de la comparación de las amplitudes relativas de las señales de referencia y detectora.

20 De acuerdo con la primera realización del invento se ha realizado una correlación utilizando un bloqueo de frecuencia única por medio de un circuito analógico. Los circuitos analógicos pueden ser construidos con una sensibilidad muy elevada a pequeñas diferencias en las amplitudes de las señales de referencia y detectora, permitiendo que se obtengan imágenes de alta calidad de una estructura interna de un artículo.

25 Se apreciará que en algunas realizaciones del invento la autocorrelacion es realizada digitalmente. El rendimiento digital de autocorrelacion tiene la ventaja de que puede ser realizado usando un ordenador que ejecuta un programa de software. Sin embargo tiene la desventaja de que la conversión de analógico a digital (A/D) de la señal detectora es requerida antes de que la autocorrelacion pueda ser realizada. El proceso de cuantificación de la señal detectora en conversión desde una señal analógica a una digital da como resultado inherentemente una pérdida de información y por lo tanto una reducción en la calidad de datos resultantes del proceso de autocorrelacion.

30 En otras realizaciones del invento el aparato está configurado para emplear otros tipo de pequeñas técnicas de recuperación de señales incluyendo una variedad de otras técnicas de detección con bloqueo. Por ejemplo, podrían emplearse analizadores multi-canales estándar, o de funcionamiento libre, filtros muy sintonizados que están desconectados e independientes de la fuente. Podrían también emplearse técnicas heterodinas como se ha descrito antes, o técnicas de disparo y promediado de umbral de señal basadas en software.

La fig. 2 es un diagrama esquemático de la primera realización del invento dispuesta para analizar artículos 190 que pasan a través del aparato en una cinta transportadora 192.

35 De acuerdo con la primera realización el generador 110 de señal de referencia, el amplificador 115 de señal de referencia y la fuente de radiación 120 están previstos en un único alojamiento 122. De modo similar, el detector de radiación 125, el amplificador y acondicionador 130 de señal detectora de radiación y el módulo de tratamiento de señal 135 también están previstos en un único alojamiento 127.

40 El aparato mostrado en la fig. 1 está previsto para funcionar en un modo de transmisión. En otras palabras, el aparato está configurado de tal forma que el detector está previsto para detectar un haz de radiación electromagnética transmitido a través del artículo que ha de ser inspeccionado. Por consiguiente, el detector 125 está previsto en un lado opuesto del artículo que ha de ser inspeccionado con respecto a la fuente 120.

En otras realizaciones del invento puede considerarse una disposición diferente de las posiciones relativas de la fuente 120 y el detector 125.

45 En el aparato 200 de acuerdo con la segunda realización del invento, el aparato está previsto para funcionar en un modo de reflexión (fig. 3). En otras palabras, el aparato esta configurado de tal forma que el detector está previsto para detectar un haz de radiación electromagnética reflejada desde el artículo que ha de ser inspeccionado.

50 Así, el generador de la señal de referencia, amplificador de la señal de referencia, fuente de radiación, detector de radiación, amplificador y acondicionador de la señal detectora de radiación, y el módulo de tratamiento de la señal pueden estar previstos en un único alojamiento 222. La fuente y el detector están previstos para ser situados en el mismo lado del

artículo 290 que ha de ser inspeccionado uno con relación al otro.

Se apreciará que en algunas realizaciones, hay previstos detectores en posiciones en ambos lados de la muestra que ha de ser inspeccionada, permitiendo que se realice bien en un modo de transmisión bien en un modo de reflexión de funcionamiento o en ambos.

- 5 El aparato 300 de acuerdo con la tercera realización del invento (fig. 4) tiene la forma de un dispositivo manual. El aparato 300 está previsto para permitir que una muestra sea insertada en un cámara de muestra 380. La inspección de una muestra en la cámara 380 es realizada sustancialmente de la misma manera que en el caso de la primera realización del invento. En algunas realizaciones en forma de un dispositivo manual el dispositivo esta configurado para funcionar en un modo de reflexión.
- 10 La fig. 5(a) muestra una imagen de una parte de una muestra alimenticia obtenida por medio del aparato de acuerdo con la primera realización del invento. La fig. 5(b) es una ilustración esquemática de una parte de una agrupación de elementos de imagen que corresponde al área contenida en un círculo en la fig. 5(a). Cada elemento de imagen corresponde a un elemento detector del detector 125. Depositado sobre cada elemento de imagen hay un número correspondiente a la amplitud de la señal generada por el elemento detector correspondiente a dicho elemento de imagen.
- 15 La fig. 6(a) muestra una imagen obtenida por el mismo aparato de una parte de una muestra alimenticia porosa. Puede verse a partir de la fig. 6(b) que los valores de amplitud de las señales generadas por los elementos detectores son generalmente más elevados que los generados en el caso de la muestra más densa de la fig. 5. Esto es porque en el caso de una muestra más porosa, un volumen menor de material alimenticio constituye la muestra alimenticia reduciendo así un volumen de alimento con el que la señal de radiación puede interactuar, para un grosor dado de muestra.
- 20 Las realizaciones del invento que operan en un modo de reflexión o una variación del modo de reflexión tal como la descrita con anterioridad pueden estar configuradas de acuerdo con la disposición mostrada esquemáticamente en la fig. 7. En la realización de la fig. 7, puede verse que la longitud del trayecto de reflexión de un haz generado por la fuente 220 es empleada para determinar la posición de las partículas 295 embebidas en una matriz 296 de una muestra 290 bajo inspección.
- 25 El aparato de la fig. 7 está configurado para determinar una longitud de trayecto del haz reflejado utilizando un detector 225 que tiene una agrupación de elementos detectores 226 separados espacialmente unos con respecto a otros.
- El aparato de acuerdo con las realizaciones del presente invento no utiliza una técnica resuelta en tiempo con el fin de determinar la posición espacial de las partículas. En su lugar, las realizaciones del presente invento están configuradas para determinar una variación de amplitud de la señal fuente hecha pasar a través de una parte de una muestra. La
- 30 amplitud de la señal fuente disminuye cuando la longitud de trayecto de la señal a través del artículo aumenta.
- Sin embargo, los expertos en la técnica apreciarán que pueden también utilizarse técnicas resueltas en tiempo en algunas realizaciones del invento.
- El aparato de acuerdo con las realizaciones del invento puede ser utilizado para inspeccionar una amplia gama de muestras de materiales incluyendo materiales orgánicos e inorgánicos tales como vidrio, plástico, madera, tejido vivo y
- 35 muerto, organismos vivos y muertos, y materiales biológicos.
- Las aplicaciones incluyen la detección de cuerpos extraños en artículos tales como alimentos. Las propiedades de artículos también pueden ser inspeccionadas, tales como porosidad, y variaciones en los cambios de densidad dentro de una muestra pueden ser caracterizados. La determinación de la calidad de un artículo también puede ser realizada, por ejemplo de alimentos tales como aperitivos y otros artículos que incluyen patatas fritas, barras de cereales, galletas y
- 40 panes.
- También puede realizarse la inspección de partes del cuerpo. En algunas realizaciones el aparato está configurado para medir el tamaño del hueso, y proporcionar imágenes de uno o más huesos de un cuerpo.
- También es posible la inspección de fracturas de hueso, siendo comparable la calidad de imágenes obtenidas usando realizaciones del invento con técnicas de formación de imágenes por rayos X. Por ejemplo, pueden inspeccionarse las
- 45 fracturas en áreas tales como dedos, brazos, rodillas, piernas, pecho, talones, etc.
- En un entorno de una fábrica, los géneros envasados o empaquetados pueden ser inspeccionados para determinar las características de un alimento envasado tal como una cantidad de alimento contenida en un envase, altura de llenado, calidad del alimento, y si hay o no presentes uno o mas contaminantes de un tipo dado.

#### Ejemplo 1



La fig. 8(a) muestra una parte de una muestra que ha de ser inspeccionada en forma de una hoja de papel que tiene texto impreso en ella. Dos bolsas hechas de un material plástico y que contienen una sustancia en forma de polvo son depositadas sobre el papel. La fig. 8(b) muestra la hoja de papel plegada una vez, durante un proceso de inserción en un sobre. La fig. 8(c) muestra el sobre después de cerrarlo.

5 La fig. 8(d) es una imagen de la muestra de la fig. 8(c) obtenida usando el aparato de acuerdo con la primera realización del invento. A pesar del hecho de que el papel está encerrado dentro de un sobre opaco a la luz visible, las letras del papel son claramente visibles y legibles en la imagen.

10 En el aparato de acuerdo con las realizaciones del invento, la imagen producida es procesada subsiguientemente utilizando otra tecnología de tratamiento de imágenes tal como el reconocimiento de carácter óptico (OCR) con el fin de introducir el texto en una base de datos.

Las realizaciones del invento encuentran un amplio margen de aplicaciones relacionadas con la seguridad de personas y propiedades. Por ejemplo, las realizaciones del invento pueden ser utilizadas en oficinas de correos en las que puede realizarse el escaneado o exploración del correo que pasa a través de la oficina de correos.

15 El escaneado del correo puede incluir la búsqueda de palabras clave asociadas con actividades que se refieren a una organización, tal como las palabras "bomba" o "ántrax", etc.

El aparato de acuerdo con las realizaciones del invento puede estar asociado con sistemas existentes configurados para escanear el correo para la información de dirección y código de clasificación.

20 El aparato de acuerdo con las realizaciones del invento puede ser usado para identificar la presencia de sustancias químicas tales como drogas ilegales y otros artículos prohibidos tales como armas de fuego, en paquetes tales como sobres, bolsos de mano o maletas, o que están siendo transportados en el cuerpo humano o animal.

### Ejemplo 2

25 La fig. 9(a) muestra un diente antes de la formación de imágenes utilizando el aparato de acuerdo con la primera realización del invento. La fig. 9(b) muestra una imagen próxima al infrarrojo (NIR) con bloqueo del mismo espécimen tomada desde la misma dirección de visión que la fotografía de la fig. 9(a). La fig. 9(c) muestra un trazado de contorno correspondiente generado a partir de los datos de la fig. 9(b).

30 Una región A de contraste relativamente elevado con las partes circundantes del diente resulta evidente en las imágenes NIR. Esta área corresponde a una diferencia relativamente baja entre las amplitudes de la señal de referencia y de la señal detectora. Esto indica que el área A corresponde a una región de densidad relativamente baja. Puede verse también que un límite B entre esmalte y dentina del diente aparece también relativamente oscuro. La región límite es también conocida por ser una región de densidad relativamente baja.

La fig. 9(d) es una fotografía que muestra una parte cortada del diente de la fig. 9(a). Puede verse que existe una cavidad en el diente. La posición de la cavidad corresponde a la posición de la región de densidad relativamente baja del diente como se ha revelado en las figs. 9(b) y (c).

### Ejemplo 3

35 La fig. 10(a) es una fotografía de cuatro artículos (un capuchón de una pluma A, un bastoncito de algodón en un palito de madera B, un clip sujetapapeles C y una pila o batería de reloj D) hechos de una gama de materiales que incluyen o bien metal, o plásticos, o algodón y madera. Los artículos se han mostrado antes de empaquetarlos o envasarlos dentro de una caja de cartón mostrada en la fig. 10(b).

40 La fig. 10(c) es una imagen NIR de los artículos utilizando el aparato de acuerdo con la primera realización del invento. La fig. 10(d) muestra la imagen de la fig. 10(c) con contraste inverso. Los artículos son claramente visibles en las imágenes de la fig. 10(c), (d).

Puede verse que la formación de imágenes NIR es capaz de formar imágenes de materiales que son normalmente radiotransparentes a los rayos X (tales como plásticos, madera y algodón) además de metales.

45 La imagen de la fig. 10(c) fue obtenida usando una fuente NIR que genera radiación próxima al infrarrojo de menos de 1 mW de potencia.

### Ejemplo 4

La fig. 11(a) es una fotografía que muestra dos piezas de carne magra (carne de cerdo) con una sección de corteza de carne de cerdo R depositada sobre una de las piezas (la pieza inferior) mostrada en la fotografía.

La fig. 11(b) es una fotografía tomada con la pieza superior de la carne de cerdo solapando a la pieza inferior. La corteza del cerdo está así “emparedada” entre las dos piezas de carne.

5 La fig. 11(c) es una imagen NIR con bloqueo de la estructura mostrada en la fig. 11(b). La presencia de la corteza de cerdo puede verse claramente en la imagen. La región en la que la corteza está situada es revelada como una región de una diferencia en amplitud relativamente grande entre la señal de referencia y la señal detectora. La corteza de cerdo, al ser de un contenido en grasa relativamente alto, contiene una proporción mayor de agua que atenúa la señal NIR en una magnitud mayor que las partes de la muestra que tienen un contenido en grasa relativamente bajo.

10 También son evidentes en la imagen las variaciones en la estructura de la propia corteza de cerdo. Además, partes de la muestra de cerdo que son mas delgadas que otras partes también muestran una variación en contraste comparada con el resto de la muestra de carne de cerdo, tal como la región “P” de la fig. 11(c).

### Ejemplo 5

La fig. 12(a) muestra una imagen NIR de una barra de chocolate fabricada por Hershey™ Company. La barra tiene una variación de grosor que corresponde a la palabra “HERSHEY’S”. La barra también contiene almendras o frutos secos embebidos dentro de la barra.

15 El aparato de acuerdo con la primera realización es suficientemente sensible para distinguir las variaciones de grosor de la barra correspondientes a la palabra “HERSHEY’S”. Las letras muestran un texto oscuro sobre un fondo brillante en la imagen. Las letras “H” son etiquetadas en la fig. 12(a) como una guía para el ojo.

Las almendras embebidas en las barras también son claramente visibles en la imagen. Los frutos secos son etiquetados “N” en la fig. 12(a).

20 A modo de comparación, la fig. 12(b) muestra una imagen de una barra de chocolate Hershey similar obtenida utilizando un sistema de formación de imágenes THz. El sistema incluye una fuente de Terahercios de láser pulsatorio de femtosegundo y un detector superenfriado.

25 La presencia de almendras dentro de la barra de chocolate, junto con las letras “HERSHE” son discernibles en la imagen de la fig. 12(b). Las letras “H” son etiquetadas en la fig. 12(b) como una guía para el ojo, y las frutos secos son etiquetados “N”.

Se ha observado que el aparato de acuerdo con la primera realización del invento es aproximadamente tres órdenes de magnitud inferior en coste que el sistema de formación de imágenes THz utilizado para obtener la imagen de la fig. 12(b). Además, el aparato de acuerdo con la primera realización es varios cientos de veces menor y sustancialmente menos costoso de mantener.

30 Algunas realizaciones del invento tienen la ventaja de que no se requieren elementos ópticos tales como lentes. Esto tiene la ventaja de reducir un coste de construcción de un sistema de acuerdo con algunas realizaciones.

35 En el aparato de acuerdo con alguna de las realizaciones del invento, la fuente está dispuesta para emitir radiación NIR de una pluralidad de longitudes de onda. La fuente está prevista de modo similar para detectar la radiación NIR de una pluralidad de longitudes de onda y para medir una intensidad de radiación de una longitud de onda o gama de longitudes de onda dadas.

El aparato de acuerdo con alguna de las realizaciones está provisto con elementos de filtro configurables electrónicamente. Los elementos de filtro configurables electrónicamente están previstos para permitir que un usuario controle una longitud de onda de radiación permitida para que pase a los detectores del aparato.

40 En algunas realizaciones del invento se ha empleado una fuente configurada para emitir una gama de longitudes de onda de radiación NIR.

En las realizaciones del invento el sistema está configurado para registrar la amplitud de una señal detectada por el detector como una función de longitud de onda variando la longitud de onda de la radiación dejada pasar por uno o más elementos de filtro asociados con el detector. En algunas realizaciones uno o más elementos de filtro están asociados con la fuente en vez de o además del detector.

45 En algunas realizaciones, hay prevista una pluralidad de detectores que tiene filtros respectivos diferentes, para permitir la detección simultanea o casi simultanea de diferentes longitudes de onda de radiación NIR. En tales realizaciones, se ha utilizado una fuente configurada para emitir radiación de una pluralidad de longitudes de onda o una gama de longitudes de onda. Tales realizaciones tienen la ventaja de permitir la formación de imágenes más rápida de un artículo. La formación de imágenes rápida de un artículo puede ser particularmente importante cuando se analizan artículos que se

desplazan a velocidad a lo largo de una cinta transportadora, o cuando se forman imágenes de objetos vivos.

En algunas realizaciones del invento la fuente está configurada para escanear un haz sobre una parte de una muestra. El haz puede tener la forma de un punto, una línea, un haz de área amplia. Una fuente lineal puede ser generada por medio de una lente cilíndrica y la línea escaneada sobre una parte de una muestra.

- 5 Se apreciará que las realizaciones del presente invento pueden ser usadas en frecuencias de modulación considerablemente menores que las usadas en la época de los sistemas de análisis de vuelo.

A lo largo de toda la descripción y reivindicaciones de esta memoria, las palabras “comprender” y “contener” y las variaciones de las palabras, por ejemplo “que comprende” y “comprende”, significan “que incluye pero no está limitado a”, y no se ha pretendido (y no se hace) excluir otras fracciones, aditivos, componentes, enteros o pasos.

- 10 A lo largo de toda la descripción y reivindicaciones de esta memoria, el singular abarca al plural a menos que el contexto lo requiera de otra manera. En particular, cuando se ha utilizado el artículo indefinido, la memoria ha de entenderse que considera la pluralidad así como la singularidad, a menos que el contexto lo requiera de otra manera.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (100) para la formación de imágenes de un objeto oculto en un artículo (190), comprendiendo el aparato:
  - un controlador (110) configurado para generar una señal de accionamiento que tiene una variación periódica de amplitud;
  - 5 una fuente (120) operable por el controlador para emitir un haz fuente irradiando por ello el artículo, comprendiendo el haz fuente un haz de radiación electromagnética no ionizante que tiene una variación periódica de amplitud que corresponde a la de la señal de accionamiento; y
  - un detector (125) que está configurado para detectar una parte del haz fuente que ha sido transmitida a través de al menos una parte del artículo, y para generar una señal detectora que tiene la variación periódica de amplitud correspondiente a la variación periódica de amplitud del haz fuente,
  - 10 en el que el controlador está además configurado para realizar una autocorrelación u otra función de detector con bloqueo entre una señal de referencia relacionada a la señal de accionamiento y la señal detectora para generar un valor correspondiente a una amplitud de la parte del haz fuente que ha sido transmitida a través de al menos una parte del artículo y para formar la imagen de cualquier objeto oculto en el artículo en el trayecto del haz fuente solamente a partir de las amplitudes de las señales detectoras.
  - 15
2. El aparato según la reivindicación 1 en el que la señal de referencia es una señal periódica que tiene una misma frecuencia que la señal de accionamiento, en que opcionalmente la señal de referencia corresponde sustancialmente a la señal de accionamiento, opcionalmente además la amplitud de la señal de referencia corresponde a la amplitud de la señal de accionamiento.
- 20 3. El aparato según la reivindicación 1 ó reivindicación 2 configurado para poner en práctica una función homodina entre la señal de referencia y la señal detectora para generar por ello el valor.
4. El aparato según cualquier reivindicación precedente en el que el haz de radiación electromagnética no ionizante corresponde a radiación electromagnética que tiene una longitud de onda del orden de 700 a 2000 nm, opcionalmente del orden de 700 a 1000 nm, más opcionalmente del orden de 800 a 900 nm.
- 25 5. El aparato según cualquier reivindicación precedente en el que la variación periódica de amplitud de la señal de accionamiento y de la señal de referencia corresponde o bien a una señal de onda cuadrada o bien a una señal de onda sinusoidal.
6. El aparato según cualquier reivindicación precedente operable para mover el detector con respecto al artículo o para mover el artículo con respecto al detector.
- 30 7. El aparato según cualquier reivindicación precedente en el que el detector comprende al menos uno seleccionado de entre un elemento fotodetector, una agrupación de elementos fotodetectores, una agrupación lineal de elementos fotodetectores y una agrupación plana de elementos fotodetectores.
8. Un aparato según cualquier reivindicación precedentes configurado para funcionar en al menos uno seleccionado de entre un modo de transmisión por lo que el detector está previsto para detectar un haz de radiación electromagnética transmitida a través del artículo, estando previsto el detector en un lado de la muestra sustancialmente opuesto a un lado en el que está prevista la fuente, y un modo de reflexión por el que el detector está previsto para detectar un haz de radiación electromagnética reflejado por el artículo, estando previsto el detector sustancialmente en el mismo lado del artículo que la fuente.
- 35
9. El aparato según cualquier reivindicación precedente en el que la fuente está configurada para emitir radiación electromagnética no ionizante de una pluralidad de longitudes de onda o gamas de longitudes de onda.
- 40
10. El aparato según cualquier reivindicación precedente en el que el detector está configurado para detectar radiación electromagnética no ionizante de una pluralidad de longitudes de onda o gamas de longitudes de onda, y en el que el detector comprende opcionalmente un filtro de radiación electromagnética sintonizable dispuesto para filtrar radiación electromagnética antes de la detección de la misma, comprendiendo el aparato además opcionalmente una pluralidad de detectores, estando configurado cada uno de dicha pluralidad de detectores para detectar una longitud de onda diferente respectiva, en el que opcionalmente al menos una de dichas longitudes de onda corresponde a una longitud de onda de absorción característica de una muestra.
- 45
11. El aparato según cualquier reivindicación precedente en el que la fuente está provista con un cable de fibra óptica previsto para dirigir el haz de radiación electromagnética no ionizante sobre el artículo o el detector está provisto con un

cable de fibra óptica previsto para dirigir la radiación electromagnética desde la muestra sobre el detector.

12. Un método para la formación de imágenes de un objeto oculto en un artículo (190) que comprende las operaciones de:

generar una señal de accionamiento que tiene una variación periódica de amplitud;

5 generar un haz fuente de radiación electromagnética no ionizante que tiene una variación periódica de amplitud correspondiente a la de la señal de accionamiento;

hacer pasar una parte del haz fuente a través de al menos una parte del artículo y a un detector (125);

generar el detector una señal detectora que tiene una variación de amplitud correspondiente a la variación de amplitud de la parte del haz fuente hecho pasar al detector; y

10 realizar una autocorrelación u otra función de detector con bloqueo entre una señal de referencia relacionada a la señal de accionamiento y a la señal detectora para generar un valor que corresponde a una amplitud de la parte del haz fuente que ha sido transmitido a través de al menos una parte del artículo y para formar la imagen de un objeto en él en el trayecto del haz fuente solamente a partir de las amplitudes de las señales detectoras, en el que opcionalmente el haz fuente corresponde a radiación electromagnética no ionizante que tiene una longitud de onda del orden de 700 a 2000 nm, además opcionalmente el haz fuente corresponde a la radiación  
15 electromagnética no ionizante que tiene una longitud de onda del orden de 700 a 1000 nm.

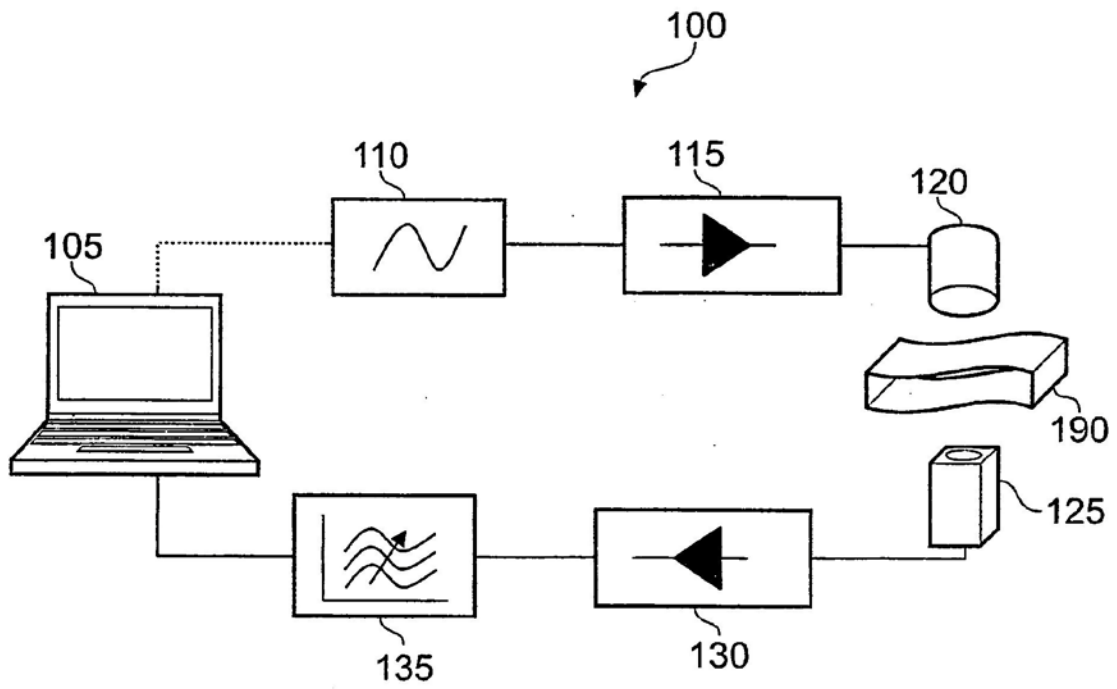


FIG. 1

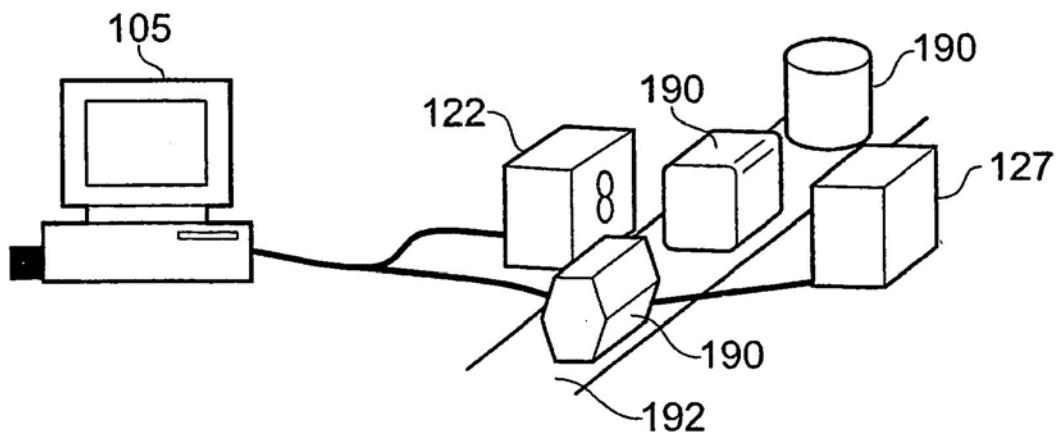


FIG. 2

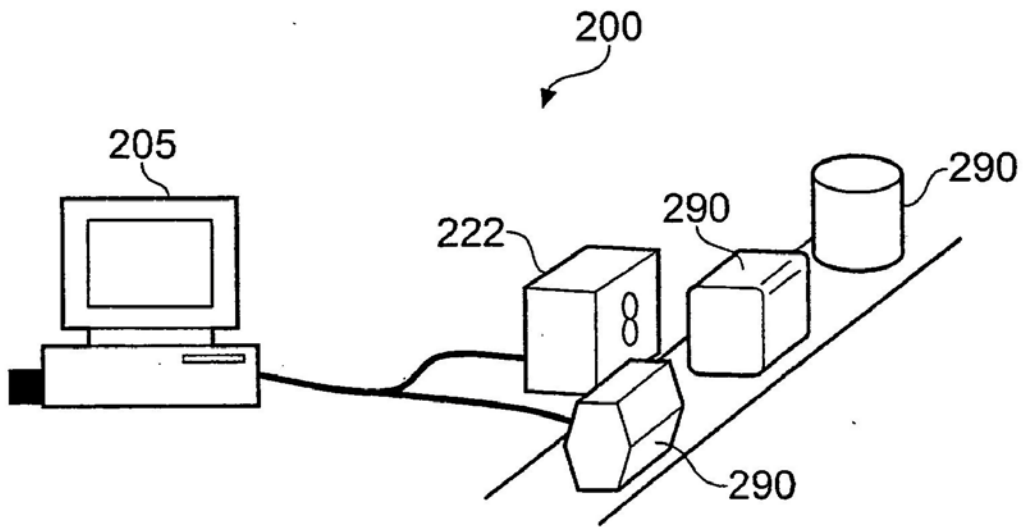


FIG. 3



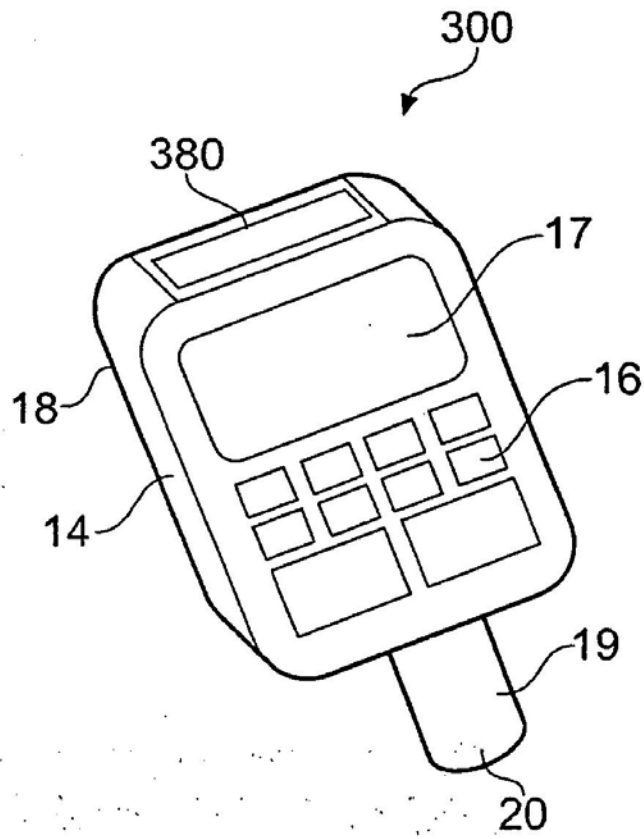
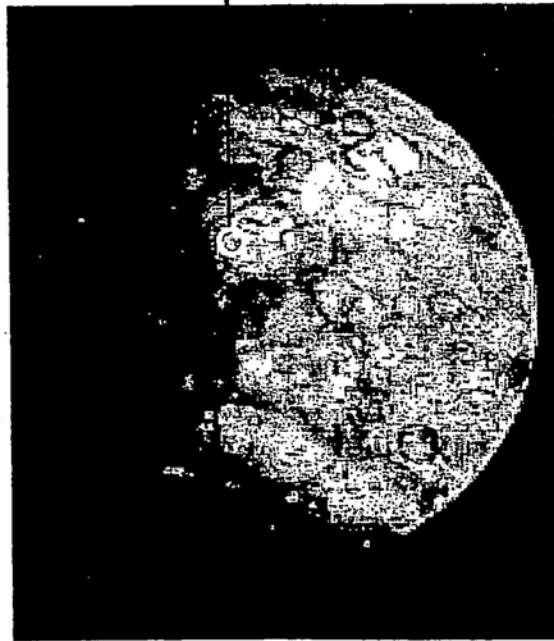


FIG. 4



62	65	68	79	84	91	97	98	99	100
86	90	90	93	98	98	95	97	101	101
101	106	107	102	100	112	103	105	101	93
108	114	116	112	121	137	125	117	106	86
108	115	119	117	129	139	141	131		92
112	119	122	126	137	149	149	139	123	101

FIG. 5(a)

FIG. 5(b)

239	233	227	222	208	191	182	183	171	166
234	230	224	217	203	189	179	179	169	157
231	229	222	212	198	189	176	175	167	154
234	232	225	211	198	188	182	179	187	181
231	228	218	202	189	182	179	175	167	163
225	223	210	189	175	173	173	169	180	183

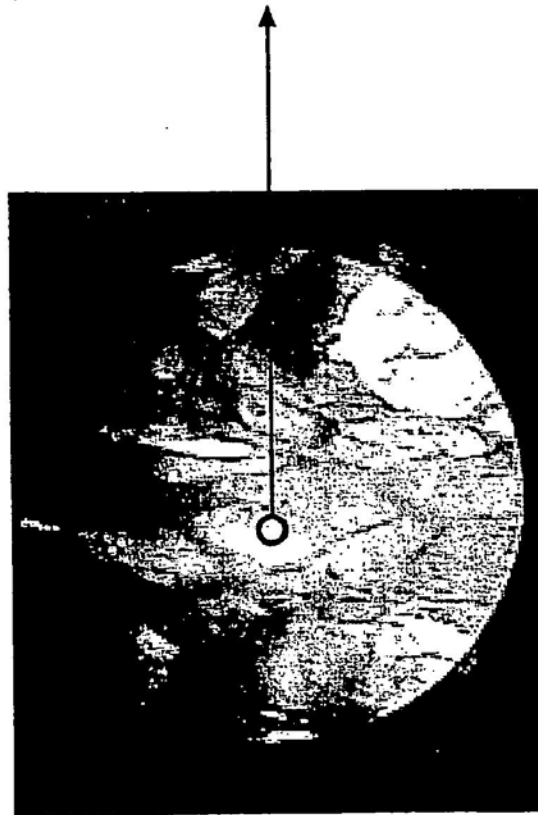


FIG. 6(b)

FIG. 6(a)

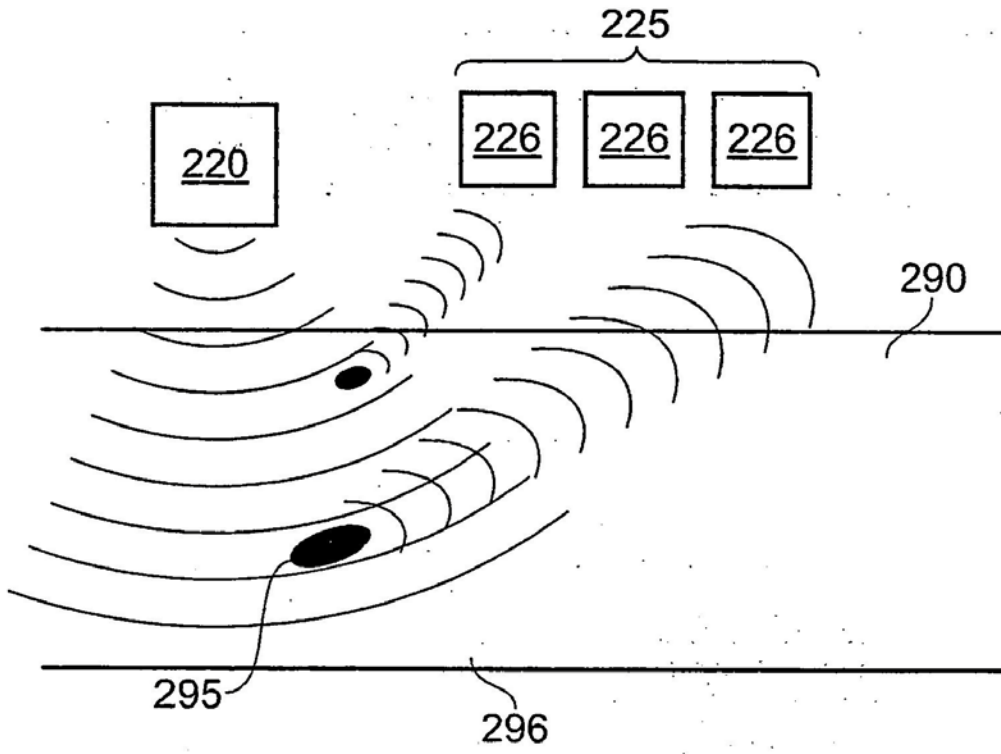


FIG. 7

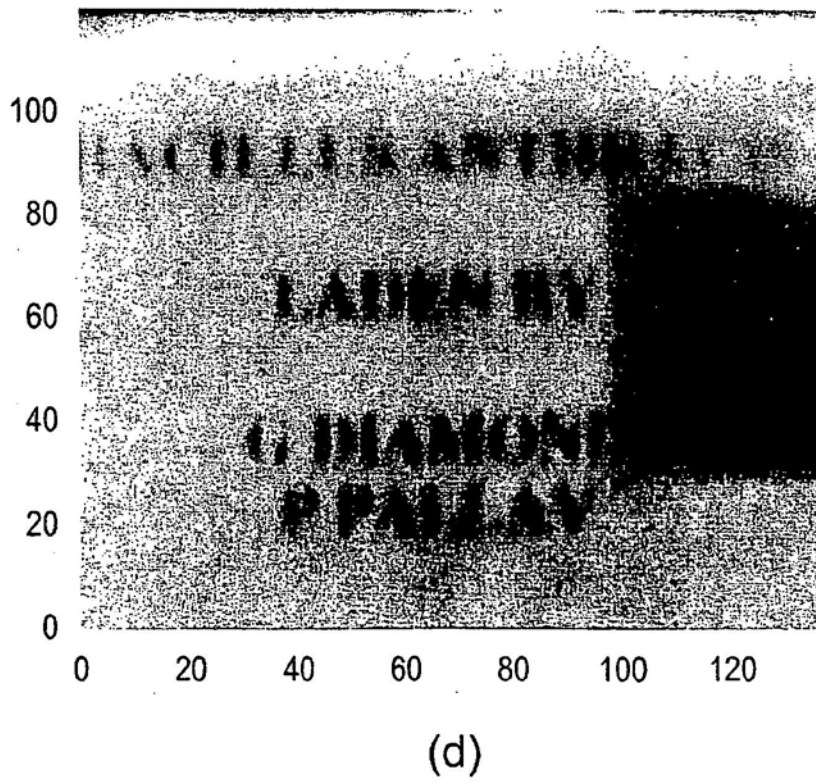
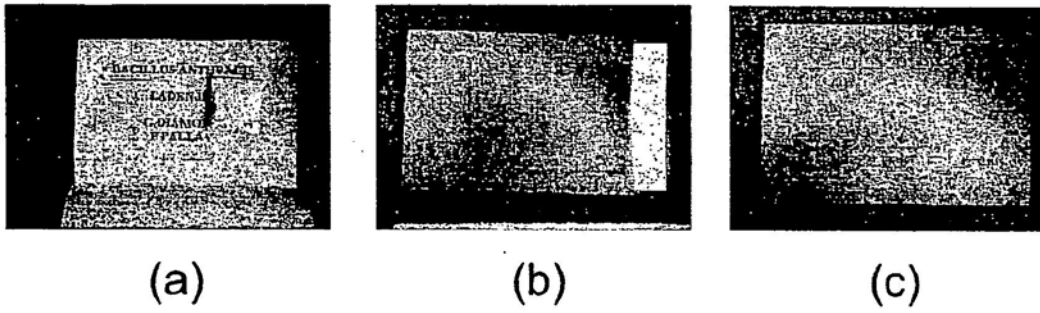
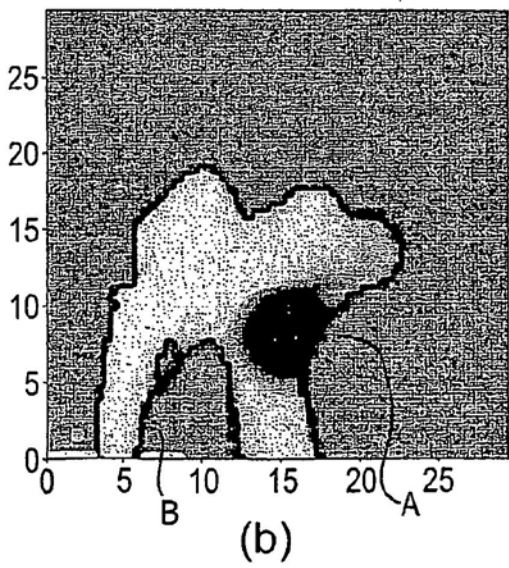


FIG. 8

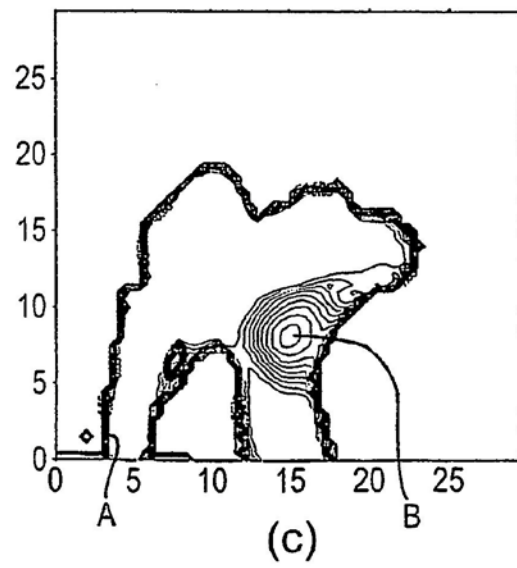




(a)



(b)



(c)

FIG. 9



(d)

FIG. 9



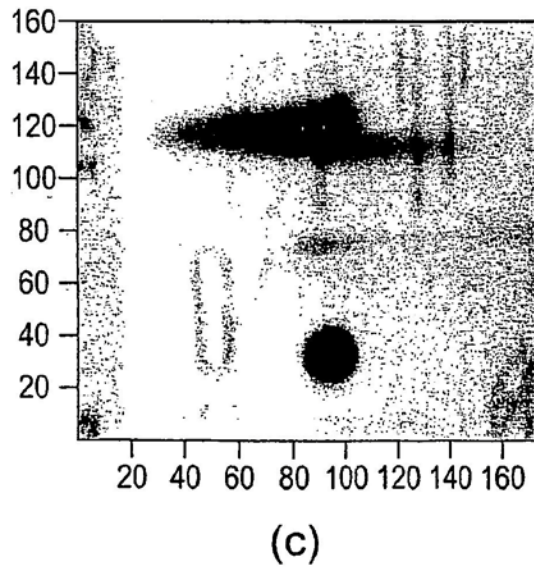
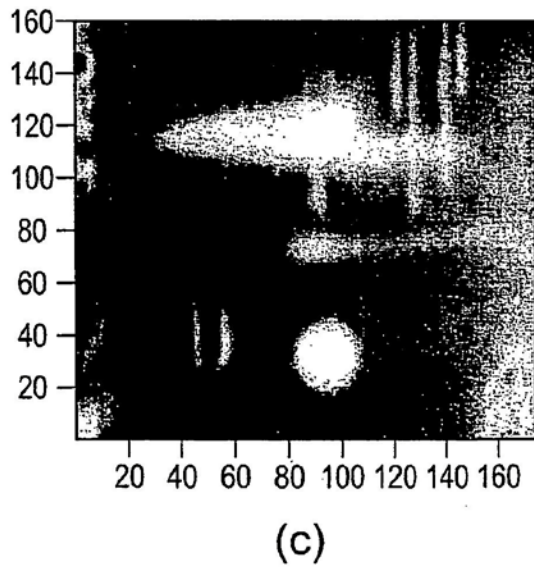
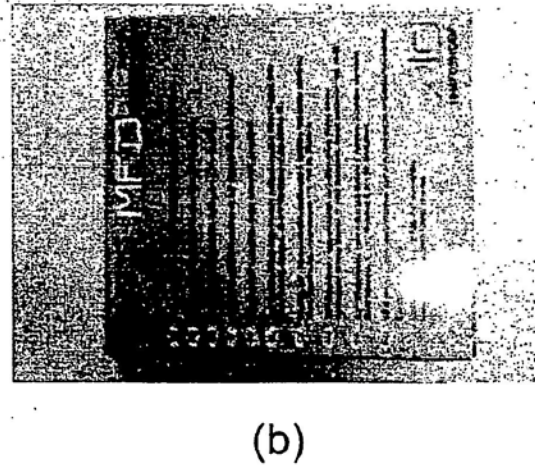
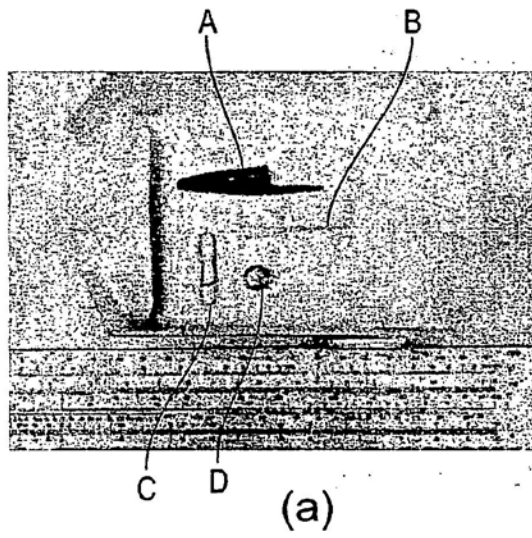
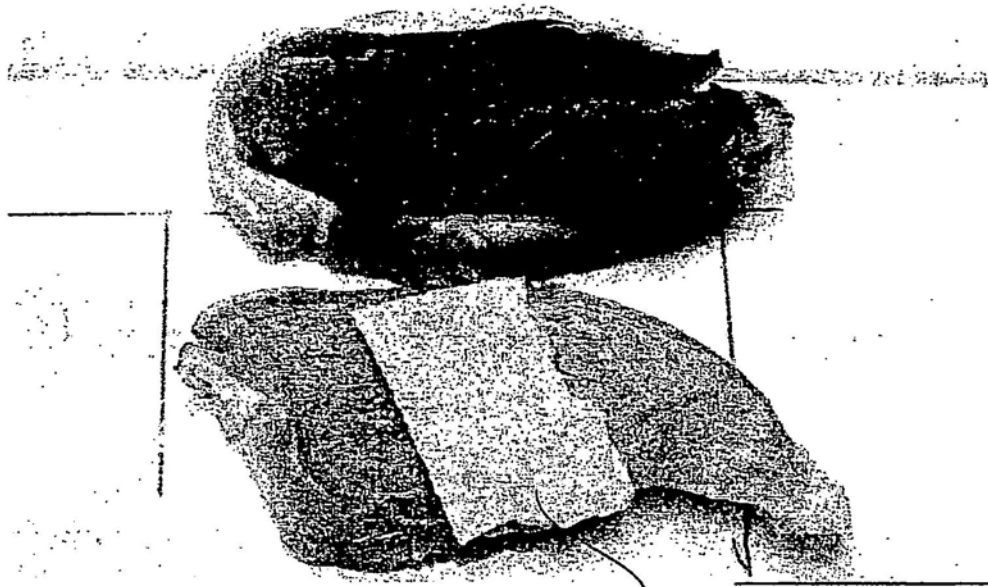


FIG. 10



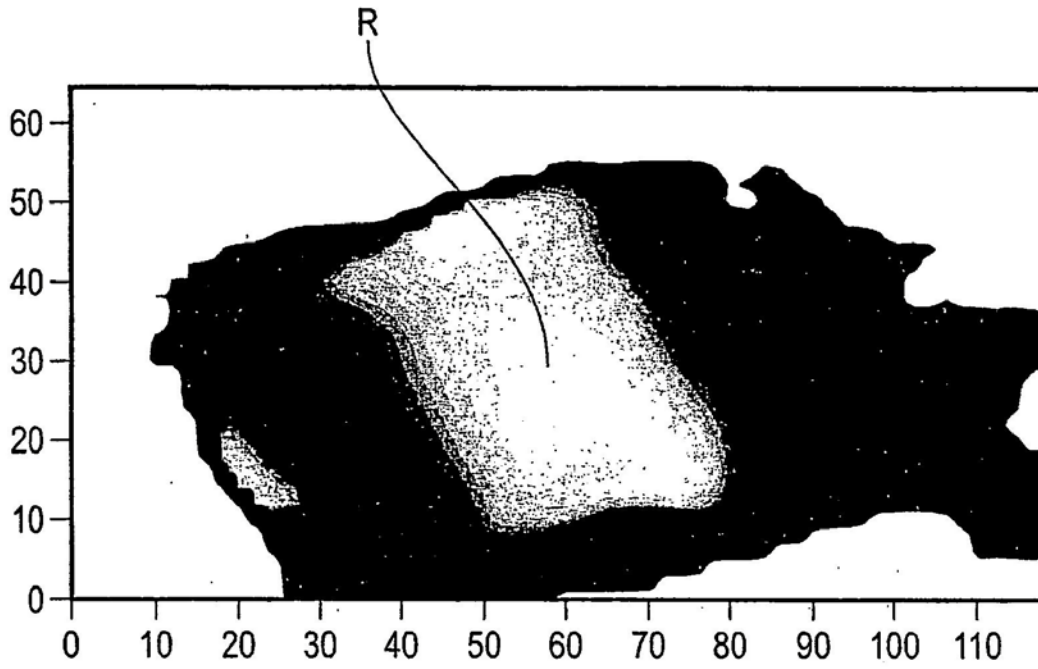


(a) R



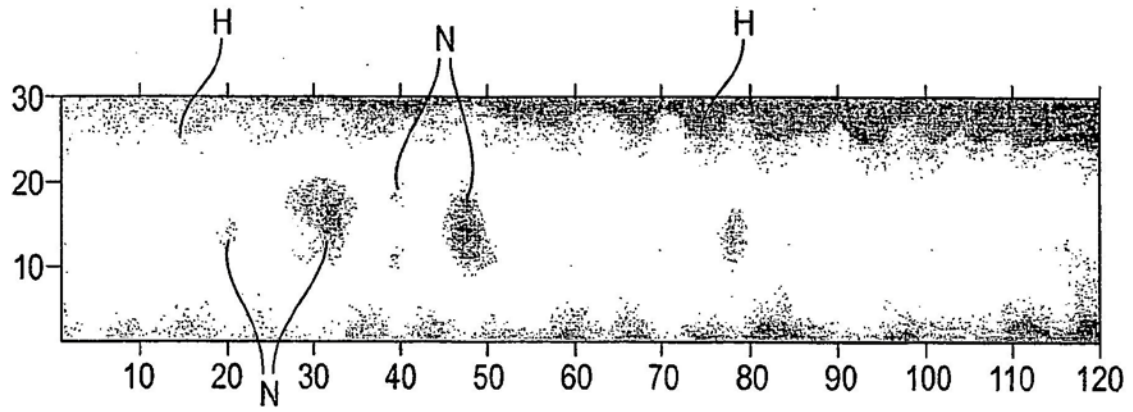
(b)

FIG. 11

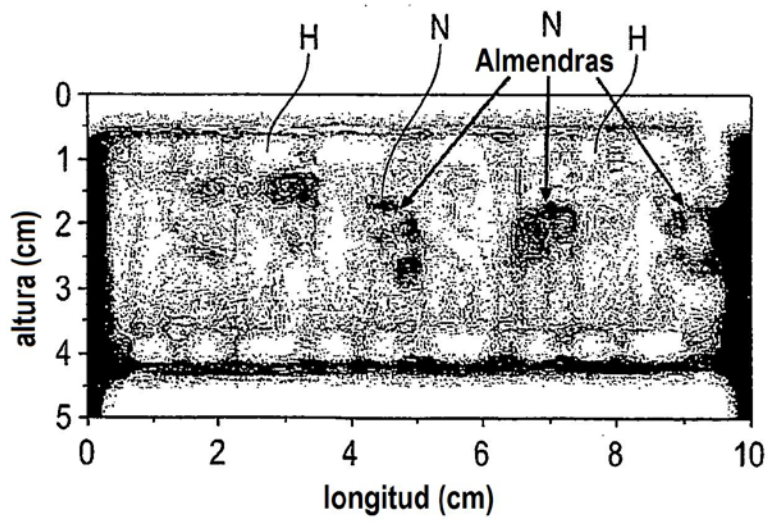


(c)

FIG. 11



(a)



(b)

FIG. 12