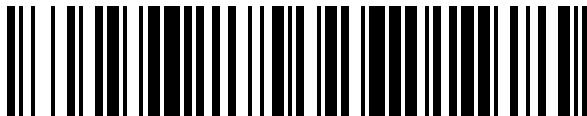


(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **1 154 459**

(21) Número de solicitud: 201500707

(51) Int. Cl.:

**G01N 23/20** (2006.01)  
**G01T 3/06** (2006.01)

(12)

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

(22) Fecha de presentación:

**04.02.2013**

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

**13.04.2016**

(71) Solicitantes:

**AMERICAN SCIENCE AND ENGINEERING, INC**  
(100.0%)  
**829 Middlesex Avenue**  
**01821 Billerica, MA, Estados Unidos US**

(72) Inventor/es:

**SUD, Rajen;**  
**SCHUBERT, Jeffrey y**  
**ROMMEL, Martin**

(74) Agente/Representante:

**HERNÁNDEZ LEHMAN, Aurelio Ricardo**

(54) Título: **Dispositivo de portal de inspección por rayos X**

ES 1 154 459 U

## DESCRIPCIÓN

## DISPOSITIVO MÓVIL DE INSPECCIÓN POR RAYOS X

- 5 La presente solicitud reivindica prioridad a partir de las solicitudes de patente provisionales de los EE.UU, con número de serie 61/598.521, y 61/598.576, ambas presentadas el 14 de febrero de 2012, y la solicitud de patente provisional de los EE.UU, con número de serie 61/607.066, presentada el 6 de marzo de 2012, todas las cuales quedan incorporadas al presente documento por referencia.

10

Campo técnico

La presente invención se refiere a detectores de centelleo acoplados mediante fibra, y a dispositivos de inspección por rayos X que emplean detectores de centelleo para una 15 detección eficiente por rayos X.

Estado de la técnica anterior

Se han empleado detectores de centelleo acoplados mediante fibra para detectar radiación 20 y partículas a lo largo de los últimos 30 años. En algunos casos, el centellador está pixelado, consistiendo en discretos elementos de centelleo, y en otros casos, se emplean otras estrategias (tales como el acoplamiento de fibras cruzadas ortogonalmente) a fin de aportar resolución espacial. Se proporcionan ejemplos de detectores de centelleo acoplados mediante fibra en las patentes de los Estados Unidos Nº 6.078.052 (de DiFilippo) y Nº 25 7.326.9933 (de Katagiri *et al.*), quedando ambas incorporadas al presente documento por referencia. Ambos detectores, descritos por DiFilippo y Katagiri *et al.*, emplean fibras con desplazamiento de longitud de onda (WSF) tales que la luz re-emitida por el material del núcleo de la fibra pueda conducirse, con poca atenuación, hasta unos foto-detectores dispuestos en un lugar conveniente, a menudo lejos del mismo centellador. La resolución 30 espacial tiene particular importancia en aplicaciones tales como la formación de imágenes por neutrones. La resolución espacial también es primordial en el Telescopio espacial Fermi de gran área (antiguamente conocido como, GLAST) en el que un detector de centelleo segmentado de alta eficiencia emplea lecturas de WSF para detectar rayos cósmicos de alta energía, como se describe en el documento de Moiseev, *et al*, *High efficiency plastic 35 scintillator detector with wavelength-shifting fiber readout for the GLAST Large Area Telescope*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A, vol. 583, páginas 372-81 (2007), que queda

incorporado al presente documento por referencia.

Debido a los contextos en los que los detectores de centelleo mediante fibra se han empleado hasta la fecha, todos los detectores de centelleo acoplados mediante fibra

5 conocidos han contado los pulsos producidos por interacciones individuales de partículas (fotones o partículas masivas) con el centellador, permitiendo de este modo determinar la energía depositada por la partícula incidente, basándose en el flujo acumulado de luz re-emitido por el centellador.

10 Los requisitos de detección de los sistemas de inspección por retrodispersión de rayos X, sin embargo, son completamente diferentes de los requisitos que satisfacen los detectores de centelleo acoplados mediante fibra, actuales. Hace más de 25 años que se usan sistemas de inspección por retrodispersión de rayos X, para detectar materiales orgánicos ocultos en maletas, contenedores de carga, vehículos y personas. Dado que los materiales  
15 orgánicos a granel tienden preferentemente a dispersar los rayos X (por el efecto Compton) en vez de absorberlos, estos materiales aparecen como objetos más brillantes en las imágenes por retrodispersión. En la medida en la que los rayos X incidentes se dispersan en todas las direcciones, la sensibilidad prevalece, de lejos, sobre la resolución espacial como requisito, y en la mayoría de las aplicaciones de dispersión, la resolución espacial del  
20 detector no preocupa en absoluto, puesto que la resolución viene regida por el haz incidente en vez de por la detección.

Los requisitos de detección especializada que plantean los sistemas de rayos X dispersos para grandes zonas y alta sensibilidad son particularmente enojosos en el caso de los  
25 detectores de centelleo "convencionales" 100 del tipo que se muestra en una sección transversal lateral en la Fig. 1A y en una sección transversal frontal en la Fig. 1B. En la patente de los EE.UU Nº 5.302.817 (de Yokota) se describe un ejemplo de semejante detector, y queda incorporado al presente documento por referencia. Normalmente, hay una caja estanca a la luz 102 alineada con pantallas de centelleo 103 donde la radiación  
30 incidente de rayos X 101 se convierte en luz de centelleo, normalmente en las regiones del espectro electromagnético (EM), visibles, de UV o con longitudes de onda superiores. Se acoplan unos tubos fotomultiplicadores de gran área fotocatódica (PMT) 105 para recibir luz de centelleo a través de unas incisiones 108. Un problema consiste en que la fracción de la luz de centelleo que se origina dentro de la pantalla se transmite desde la pantalla al  
35 volumen cerrado. La luz de centelleo remanente se pierde en el material de la pantalla. Las pantallas de centelleo 103 están diseñadas para maximizar la fracción de luz emitida, que

es primordial para asegurar un coeficiente de transmisión  $T$  elevado para el interfaz entre la pantalla **103** y el medio (normalmente aire) que llena el volumen del detector. No obstante, en un detector convencional de retrodispersión del tipo del que se ha representado en las Figs. 1A y 1B, las pantallas de centelleo **103** también deberían servir como buenos reflectores dado que la luz de centelleo, una vez emitida en el volumen de la caja **102**, normalmente necesita múltiples reflexiones hasta alcanzar un foto-detecto**r 105**. De este modo, el coeficiente de reflexión  $R$  de la superficie de la pantalla también debería ser elevado, sin embargo, dado que la suma de  $T$  y  $R$  está limitada a formar una unidad, ambos  $T$  y  $R$  no pueden maximizarse simultáneamente, y se debe alcanzar un compromiso. Como resultado, la eficiencia de la recogida de luz del detector convencional de retrodispersión es inherentemente baja, recogiéndose en los foto-detectores únicamente un pequeño porcentaje de la luz de centelleo generada.

Para un detector de formación de imágenes, el ruido estadístico de los fotones se calcula en términos de fotones absorbidos por el detector y se usa para generar la imagen. Cualquier fotón que pase a través del detector sin ser absorbido, o incluso aquellos que son absorbidos sin generar información de la imagen, se desechan y no contribuyen a reducir el ruido en la imagen. Dado que los fotones no pueden subdividirse, representan el nivel cuántico fundamental de un sistema. Es una práctica común calcular el ruido estadístico en términos del número más pequeño de cuantos utilizado para representar la imagen en cualquier sitio a lo largo de la cadena de formación de imágenes. El punto a lo largo de la cadena de formación de imágenes en el que se utiliza el menor número de cuantos para representar la imagen se denomina "sumidero cuántico". El nivel de ruido en el sumidero cuántico determina el límite de ruido del sistema de formación de imágenes. Sin aumentar el número de portadores de información (es decir, cuantos) en el sumidero cuántico, no se puede mejorar el límite de ruido del sistema. Una escasa recogida de luz posiblemente pueda crear un sumidero cuántico secundario, es decir que limitará la fracción de rayos X incidentes que tiene como resultado la corriente de los PMT. Además, aumentará el ruido de la imagen. La eficiencia de la recogida de luz puede mejorarse aumentando el área sensible de los foto-detectores, sin embargo, ese camino a la eficiencia resulta costoso.

A continuación se describe la estructura de la pantalla de centelleo que se emplea normalmente en los detectores de centelleo de rayos X de la técnica anterior, con referencia a la Fig. 2. Se intercala una capa de centellador compuesto **202** entre una lámina de refuerzo **204** de soporte estructural y una delgada película protectora, **206** transparente, compuesta de poliéster, por ejemplo. El centellador compuesto, normalmente consiste en

micro-cristales inorgánicos en una matriz inorgánica o resina. Los cristales son en realidad el material centelleante, el fluorocloruro de bario (BaFCI, o "BFC") o el oxisulfuro de gadolinio (Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S, o "Gadox") dopado con elementos de tierras raras son elecciones comunes para los mismos. La potencia de frenado de la pantalla está determinada por el

5 espesor de la capa compuesta de centellador 202, que normalmente se mide en miligramos de cristal centellador por unidad de área. Dado que los centelladores inorgánicos (tales como el BFC o Gadox) padecen una auto-absorción muy acusada, la capa de centellador compuesto debe mantenerse bastante fina para extraer una buena fracción de la luz de centelleo. Esto limita el poder de frenado útil de la pantalla y la convierten en apta solo para  
10 la detección de rayos X con energías de hasta aproximadamente 100 keV.

Por lo tanto, sería ventajoso tener un detector de centelleo para aplicaciones de detección de dispersión de rayos X que proporcione una extracción, recogida y detección de luz de centelleo más eficiente.

15 Tal y como se ha tratado antes brevemente al principio, hace tiempo que se emplean fibras con desplazamiento de longitud de onda (WSF) para la detección de centelleo. Las fibras con desplazamiento de longitud de onda consisten en un núcleo con un índice de refracción relativamente alto, rodeado de una o más capas de revestimiento con un índice de  
20 refracción menor. El núcleo contiene material de desplazamiento de longitud de onda, también denominado tinte. La luz de centello que entra en la fibra es absorbida por el tinte que, a su vez, emite luz con una longitud de onda mayor. La luz con la longitud de onda mayor se emite isotrópicamente en el material de la fibra. La reflexión total interna atrapa una fracción de esa luz y la conduce a través de largas distancias con una pérdida  
25 relativamente baja. Esto es posible, como se describe con referencia a la Fig. 3, debido a que efectivamente los intervalos de las longitudes de onda de absorción 302 y de emisión 304 del tinte no se superponen, de modo que la luz con longitud de onda desplazada no se reabsorbe. La fracción capturada viene determinada por la relación de los índices de refracción en las superficies de las fibras. Una ventaja adicional de la WSF, es que el  
30 desplazamiento de la longitud de onda puede llevar la luz de centelleo 306 al intervalo de sensibilidad a las longitudes de onda del foto-detector (del PMT, del fotomultiplicador de silicio (SiPM), o del Contador de fotones Multi-Píxel (MPPC), u otro).

35 Las estructuras centelladoras se han producido utilizando muchas tecnologías de fabricación, que incluyen, por ejemplo, fundición a presión, moldeado por inyección (como describe Yoshimura *et al.*, *Plastic scintillator produced by the injection-molding technique*,

Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A. vol. 406, páginas 435-41 (1998)), y por extrusión, (Como se describe en la patente de los EE.UU. Nº 7.067.079, de Bross, *et al.*), quedando ambos documentos incorporados al presente documento por referencia.

5 **Sumario de los modos de realización de la invención**

De acuerdo con varios modos de realización de la presente invención, se proporcionan sistemas y métodos que aplican detectores de centelleo acoplados mediante fibra a problemas en la inspección por retrodispersión y transmisión de rayos X.

10

Para una mayor comodidad en la notación, en el presente documento se podrá hacer referencia a los detectores de centelleo acoplados mediante fibra con desplazamiento de longitud de onda como detector "Sc-WSF".

15

En un primer modo de realización de la presente invención, se proporciona un detector de radiación penetrante que tiene un volumen no pixelado de medio de centelleo para convertir la energía de radiación penetrante incidente en luz de centelleo. El detector tiene múltiples guías de ondas ópticas, alineadas sustancialmente paralelas entre sí sobre una región de extracción de luz de centelleo que es contigua al volumen no pixelado del medio de centelleo. Las guías de ondas ópticas guían la luz derivada de la luz de centelleo a un foto-detector para detectar fotones guiados por las guías de ondas y para generar una señal detectora.

20

25

En otros modos de realización de la presente invención, el detector también puede tener un circuito integrador para integrar la señal detectora a lo largo de un tiempo, de duración específica.

30

35

En un modo de realización alternativo de la invención, se proporciona un detector de radiación penetrante que tiene un volumen de medio de centelleo para convertir la energía de radiación penetrante incidente en luz de centelleo y una pluralidad de guías de ondas ópticas alineadas sustancialmente paralelas entre sí sobre una región de extracción de luz de centelleo contigua al volumen del medio de centelleo. Las guías de ondas ópticas guían la luz derivada de la luz de centelleo a un foto-detector que genera una señal detectora. Para terminar, un circuito integrador para integrar la señal detectora a lo largo de un tiempo, de duración específica.

En otros modos de realización de la invención, las guías de onda adicionales en los detectores anteriores pueden estar adaptadas para desplazar la longitud de onda de la luz de centelleo y, más particularmente, pueden ser fibras ópticas de desplazamiento de longitud de onda. El medio de centelleo puede incluir un haluro mixto de bario dopado con

5 lantánido, tal como fluorocloruro de bario. El foto-detecto<sup>r</sup> puede incluir un fotomultiplicador.

En otro modo más de realización de la invención, el cuadrado del espesor de cualquiera de los detectores anteriores, dividido por el área del detector, puede ser inferior a 0,001. Al menos una de la pluralidad de guías de ondas puede carecer de revestimiento y el medio de 10 centelleo puede estar caracterizado por un índice de refracción de valor inferior al índice de refracción que caracteriza la guía de ondas. Las guías de ondas ópticas pueden disponerse en múltiples planos paralelos, conteniendo cada uno de los planos paralelos un subconjunto de la pluralidad de guías de ondas ópticas.

15 En otros modos de realización de la invención, el detector puede tener una pluralidad de capas de medio de centelleo que un haz incidente puede encontrar sucesivamente, y las capas pueden caracterizarse por distintas sensibilidades espectrales al haz incidente. Capas alternadas de centellador pueden incluir Li<sup>6</sup>F:ZnS(Ag) alternado con al menos uno de BaFCI(Eu) acoplado mediante una fibra y de BaFI(Eu) acoplado mediante una fibra. Una 20 primera capa de la pluralidad de capas del medio de centelleo puede ser un detector acoplado mediante fibra con desplazamiento de longitud de onda preferentemente sensible a rayos X de baja energía, y una última capa de la pluralidad de capas del medio de centelleo puede ser un centellador plástico.

25 Pueden disponerse segmentos del medio de centelleo en un plano transversal a la dirección de propagación de un haz incidente, y puede estar acoplado de manera distintiva a foto-detectores mediante fibras ópticas.

30 De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, un método para fabricar un detector de centelleo, comprendiendo el método la extrusión de una cubierta de material de centelleo alrededor de una guía de onda óptica, y en un modo de realización particular, la guía de onda óptica es una fibra óptica de desplazamiento de longitud de onda.

35 En un modo de realización alternativo, un método para detectar radiación de rayos X dispersos consta de los siguientes pasos:

a. la provisión de un detector caracterizado por una pluralidad de segmentos

leídos individualmente; y

- b. la suma de una señal de un subconjunto de los segmentos leídos individualmente, en el que el subconjunto se selecciona en base a una señal relativa sobre el ruido.

5

En otro aspecto de la invención, se proporciona un método para detectar radiación de rayos X dispersos. El método consta de los siguientes pasos:

- a. la provisión de un detector caracterizado por una pluralidad de segmentos leídos individualmente; y
- 10 b. la suma de una señal de un subconjunto de los segmentos leídos individualmente, en el que el subconjunto se selecciona en base a una posición conocida de un haz iluminador primario.

Se proporciona un sistema móvil de inspección por rayos X de acuerdo con otro modo de 15 realización. El sistema de inspección tiene una fuente de radiación de rayos X dispuesta sobre un transportador que tiene una plataforma y miembros en contacto con el suelo, y un detector de centelleo acoplado mediante fibra desplegado fuera del transportador durante la operación de inspección para detectar los rayos X que han interactuado con el objeto inspeccionado.

20

El sistema móvil de inspección por rayos X también puede tener un detector de centelleo de tipo toldo de inspección acoplado mediante fibra, desplegado por encima del objeto inspeccionado en el transcurso de una inspección, y el detector de tipo toldo puede deslizarse hacia fuera desde un tejado del transportador antes de la operación de 25 inspección. También puede desplegarse un detector de tipo faldón por debajo de la plataforma del transportador, y un detector de techo para la detección de espacios más altos que el transportador, así como segmentos de detección de centello sustancialmente horizontales y sustancialmente erectos acoplados mediante fibra. Los segmentos de detección de centello sustancialmente horizontales y sustancialmente erectos acoplados 30 mediante fibra pueden estar conformados en forma de estructura integral.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato para detectar radiación incidente en el aparato, comprendiendo el aparato:

- a. una pluralidad de hojas de colimación activa sustancialmente paralelas que comprenden detectores de centelleo acoplados mediante fibra con desplazamiento de longitud de onda, sensibles a la radiación para generar al

menos una señal de detección;

- b. un detector posterior de zona amplia para detectar radiación que pasa entre hojas de colimación activa sustancialmente paralelas de la pluralidad de hojas de colimación activa y generar una segunda señal de detección; y
- 5 c. un procesador para recibir y procesar la primera y la segunda señales de detección.

De acuerdo con un modo de realización alternativo de la invención, se proporciona un sistema de inspección por formación de imágenes de arriba a abajo para inspeccionar un 10 objeto dispuesto en una superficie subyacente. El sistema de inspección por formación de imágenes de arriba a abajo tiene una fuente de rayos X que apuntan sustancialmente hacia abajo y un grupo de detectores lineales dispuesto dentro de una protuberancia por encima de la superficie subyacente. El grupo de detectores lineales puede incluir detectores de centelleo acoplados mediante fibra con desplazamiento de longitud de onda.

15

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un sistema de inspección por rayos X para inspeccionar los bajos de un vehículo. El sistema de inspección por rayos X tiene una fuente de rayos X que sustancialmente apuntan hacia arriba, acoplada a un bastidor y un detector de centelleo acoplado mediante fibra con desplazamiento de longitud 20 de onda dispuesto sobre el bastidor para detectar rayos X dispersados por el vehículo y por objetos escondidos bajo o dentro del vehículo. El bastidor puede estar adaptado para maniobrarse por debajo del vehículo mediante al menos un motor y un control manual.

#### Breve descripción de las figuras

25

Las características anteriores de la invención se entenderán con más facilidad por referencia a la siguiente descripción detallada, que se hace en referencia a las figuras adjuntas, en las que:

30

Las Figs. 1A y 1B muestran una vista lateral y una vista en sección transversal, respectivamente, de un detector de centelleo de "tipo caja" del estado de la técnica anterior.

La Fig. 2 es una vista esquemática de una pantalla centelladora del estado de la técnica anterior.

35

La Fig. 3 representa las relaciones espectrales entre la luz de centelleo y el típico espectro

de absorción y de emisión de la fibra con desplazamiento de longitud de onda.

La Fig. 4 es una vista esquemática en perspectiva de un grupo de fibras con desplazamiento de longitud de onda intercaladas entre el material centellador, de acuerdo 5 con un modo de realización de la presente invención.

La Fig. 5 es una vista esquemática en sección transversal de un grupo de fibras con desplazamiento de longitud de onda, embebido en una matriz de material centellador, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

10 La Fig. 6 es una vista en perspectiva de un centellador cilíndrico extruido alrededor de una WSF, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

La Fig. 6B es una representación esquemática de un sistema para extruir un centellador cilíndrico alrededor de una WSF, de acuerdo con un modo de realización de la presente 15 invención.

La Fig. 6C es una vista de sección transversal de un extrusor para co-extruir un centellador cilíndrico con una WSF, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

20 La Fig. 7 es una vista esquemática en sección transversal de un detector de centelleo con múltiples filas de WSF, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

La Fig. 8 es una vista desde arriba de un detector de centelleo acoplado mediante fibra con desplazamiento de longitud de onda de acuerdo con un modo de realización de la presente 25 invención.

La Fig. 9 muestra detectores por retrodispersión de techo y faldón, recogidos de acuerdo con unos modos de realización de la presente invención. Mientras que la Fig. 10 muestra los mismos detectores desplegados en el transcurso de unas operaciones de inspección.

30 La Fig. 11 muestra un detector de tipo toldo y de tipo faldón para su uso con un sistema de inspección por retrodispersión de acuerdo con modos de realización de la presente invención.

35 La Fig. 12 es una vista esquemática en sección transversal de un apilamiento de capas centelladoras para su uso como detector de transmisiones de rayos X de alta energía, de

acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

Las Figs. 13A y 13B muestran un detector de transmisión laminado dentro de un badén de control de velocidad de 5,08 cm (2-pulgadas) de altura, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención, mientras que la Fig. 13C muestra una sección transversal del conjunto detector insertado en la estructura del badén de control de velocidad.

La Fig. 14A muestra una vista en perspectiva de un detector de transmisiones de rayos X segmentado para medir la distribución de la intensidad detectada por toda la anchura de un haz de rayos X, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención, mientras que las Figs. 14B y 14C muestran una terminación en sección transversal y el típico perfil de un haz del detector de la Fig. 14A.

La Fig. 15 es una sección transversal esquemática de un detector de centelleo con resolución de múltiples energías, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

La Fig. 16 muestra un detector de centelleo de múltiples capas para la detección tanto de rayos X como de neutrones térmicos, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

La Fig. 17 muestra una vista en perspectiva de un detector con colimadores activos.

Las Figs. 18A y 18B muestran unas vistas en perspectiva y en sección transversal de un detector-WSF utilizado como un colimador activo de acuerdo con un modo de realización de la presente invención, y las Figs. 18C y 18D muestran una disposición con lecturas independientes separadas por un absorbedor de rayos X hermético a la luz para distinguir la radiación que golpea cada cara, de acuerdo con otro modo de realización de la presente invención.

30

Las Figs. 19A y 19B muestran múltiples detectores desplegándose de un escáner manual, en condición de almacenamiento y desplegados, respectivamente, de acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

35 Las Figs. 20A y 20B muestran una unidad de retrodispersión que en virtud de los detectores Sc-WSF y de acuerdo con la presente invención, puede deslizarse por debajo de un

vehículo para inspeccionar el chasis por debajo.

Las Figs. 21A y 21B representan el uso de una combinación en ángulo recto de detectores basados en la tecnología Sc-WSF junto con un sistema móvil de inspección y de acuerdo 5 con un modo de realización de la presente invención.

#### **Descripción detallada de los modos de realización de la invención**

De acuerdo con unos modos de realización de la presente invención, el acoplamiento óptico 10 del material centellador a las guías de ondas ópticas, y más particularmente, a fibras con desplazamiento de longitud de onda, ventajosamente permiten alcanzar objetivos incluyendo aquellos que son propios de las exigencias de la detección por dispersión de rayos X.

15 *Definiciones:*

El término "imagen" se referirá a cualquier representación unidimensional o multidimensional, ya sea de forma tangible o de cualquier otra forma perceptible, o bien, mediante la cual un valor de alguna característica (tal como intensidad fraccional 20 transmitida a través de una columna de un objeto inspeccionado por un haz incidente, en el caso de la formación de imágenes por transmisión de rayos X) está asociado con cada uno de una pluralidad de lugares (o, vectores en un espacio Euclídeo, normalmente  $\mathbb{R}^2$ ) correspondientes a coordenadas dimensionales de un objeto en un espacio físico, aunque no necesariamente mapeadas una a una sobre el mismo. Una imagen puede comprender 25 un grupo de números en una memoria de un ordenador o medio holográfico. De manera similar, la "formación de imágenes" se refiere a la representación de una característica física determinada, en términos de una o más imágenes.

Los términos de relación espacial, tal como "encima," "debajo", "superior", "inferior", y 30 similares, pueden utilizarse en este documento para facilitar la descripción a fin de describir la relación de un elemento con otro, tal y como se muestra en las figuras. Se entenderá que tales términos de relación espacial tienen por objeto englobar distintas orientaciones del aparato en uso o en funcionamiento además de la orientación descrita y/o representada en las figuras.

35

Cuando se describa un elemento indicando que está "sobre", "conectado a" o "acoplado a"

otro elemento, puede estar directamente sobre, conectado o acoplado al otro elemento, o, como alternativa, uno o más elementos interviniéntes podrían estar presentes, a no ser que se especifique lo contrario.

- 5 La terminología utilizada en este documento tiene por objeto describir modos de realización particulares y no pretende constituir una limitación. Las formas en singular "un," "una," y "el/la," pretenden incluir también las formas en plural.

#### *Detectores WSF*

10

En primer lugar, con referencia a la Fig. 4, en un modo de realización de la invención, una capa de fibras con desplazamiento de longitud de onda **400** paralelas y muy poco separadas, está intercalada entre dos capas **403** de pantalla compuesta de centelleo. El material centellador preferido es el fluorocloruro de bario dopado con europio (BaFCl:Eu), si bien otros centelladores, tales como as BaF<sub>2</sub>:Eu, u otros haluros mixtos de bario dopado con lantánido (incluyendo, a modo de ejemplo adicional, BaBr<sub>2</sub>:Eu y BaCsI:Eu), pueden utilizarse dentro del ámbito de la presente invención. Dado que los materiales centelladores empleados para la detección de rayos X típicamente exhiben una auto-absorción muy acusada de fotones de centelleo, los modos de realización de conformidad con la presente invención ventajosamente permiten el empleo de volúmenes de centellador **403** inusualmente grandes y aún así seguir emitiendo la señal de centelleo eficientemente.

Una ventaja de utilizar una pantalla compuesta de centelleo en la presente solicitud es que permite la fabricación por extrusión de un detector acoplado mediante fibra.

25

El centellador compuesto **403** está estructuralmente soportado por unas capas exteriores **404** de plástico, o de otro material, que proporcionan un soporte mecánico. El contacto óptico entre el revestimiento de fibra **401** y el centellador compuesto **403** se establece rellenando los vacíos con un material de índice coincidente **405** con un índice de refracción adecuado que sea transparente a la luz de centelleo. El índice de refracción del material de relleno se elige para optimizar la recogida de fotones de luz primarios en la WSF y la captura de fotones con longitud de onda desplazada en la fibra. El material de relleno **405** puede ser grasa óptica o un epóxido óptico, por ejemplo, aunque cualquier material se encuentra dentro del ámbito de aplicación de la presente invención.

35

Cuando los fotones de los rayos X inciden, la luz de centelleo emitida por el centellador **403**

- se acopla a través del revestimiento 401 en el núcleo 407 de las respectivas fibras, con frecuencia reducida (es decir, desplazada al rojo) y se propaga a uno o más foto-detectores 805 (se muestra en la Fig. 8, por ejemplo). La luz de los núcleos de la fibra 407 se convierte en una corriente a través de un foto-detector 805, y la corriente se integra
- 5 durante un intervalo de tiempo, normalmente en un rango de 1-12  $\mu$ s, para obtener la potencia de la señal para cada pixel. La integración de la señal del detector puede realizarse mediante un circuito integrador (no se muestra), como un pre-amplificador integrador, por ejemplo.
- 10 A continuación con referencia a la Fig. 5, se embeben fibras con desplazamiento de longitud de onda 400 en la matriz de la pantalla de centelleo 503. El embebido de las WSF en el medio de centelleo crea el mejor contacto óptico.

En otro modo de realización adicional de la invención, que se describe a continuación con referencia a la Fig. 6A, el material centellador compuesto 603 se aplica como revestimiento o cubierta alrededor de una WSF 601 con nucleo 602. Esta aplicación se presta a un proceso de fabricación de tipo extruido y permite usar de la manera más efectiva el costoso material centellador 603. El material centellador 603 está sellado con una capa protectora 604 que también actúa como reflector de la luz de centelleo. Dentro del ámbito de la 20 presente invención, el revestimiento puede omitirse cuando el centellador tenga un índice de refracción inferior al de la fibra y la unión del centellador con la fibra tenga la suavidad y robustez necesarias.

Puede fabricarse una fibra óptica polimérica de desplazamiento de longitud de onda, de acuerdo con un modo de realización de la invención que ahora se describe con referencia al esquema del dibujo representado en la Fig. 6B. Se alimenta un troquel de coextrusionado 612 dentro de la zona de extrusión 614 con fuentes de polímero fundido 606 de las WSF, polímero fundido 608 del revestimiento con bajo índice de refracción, y polímero fundido ópticamente transparente embebido en fósforo 610, todos a presión, y se co-extrusionan. 30 Se pulveriza, gas seco 611, tal como aire o nitrógeno seco, por ejemplo, sobre la fibra extruida para enfriarla. Se alimenta un troquel de extrusión 618 con el polímero fundido con un pigmento reflector de la luz (tal como TiO<sub>2</sub>, por ejemplo) 616 a presión para obtener una funda reflectora de la luz sobre la WSF recubierta de centellador 613. Las WSF cargadas de centellador 620 resultantes se enrollan para su almacenamiento mediante una devanadora 35 622. La Fig. 6C muestra una vista en sección transversal de un sistema de coextrusión,

- para su uso de acuerdo con unos modos de realización de la presente invención, para la fabricación de WSF recubiertas de centellador. Se inyecta las WSF poliméricas fundidas 606, junto con el polímero fundido del revestimiento con un bajo índice de refracción 608 y el polímero fundido ópticamente transparente embebido en fósforo 610, en el troquel de 5 extrusión 612. Se alimenta el troquel de extrusión 618 con el polímero fundido con un pigmento reflector de la luz 616 a presión. La fibra terminada tiene un núcleo de WSF 602, un revestimiento de bajo índice 601, un revestimiento cargado de centellador 603, y un recubrimiento reflector 604.
- 10 Para todos los modos de realización de un detector de centelleo de acuerdo con la presente invención, resulta ventajoso que el espesor del material centellador se optimice para la energía de la radiación que se quiere detectar. El diseño debería garantizar que se recoge suficiente luz como para evitar un sumidero cuántico secundario. En particular, los modos de realización de la invención descritos en este documento proporcionan detectores 15 extraordinariamente finos en relación a su área.

*Definiciones:* A efectos de la presente descripción, y en cualquier reivindicación adjunta, el término "espesor", tal y como se aplica para un detector de centelleo, representará la extensión media del detector en una dimensión a lo largo de, o paralelo a, un centroide del 20 campo visual del detector. El término área, se aplica a un detector, o, de manera equivalente, el término "área activa" se referirá al tamaño del detector medido en un plano transversal al centroide de todos los vectores de propagación de radiación dentro del campo visual del detector.

- 25 Los modos de realización de la presente invención, incluso aquellos con hasta 8 capas WSF, tienen relaciones del cuadrado del espesor del detector con respecto al área del detector activo inferiores a 0.001. Por ejemplo, un detector de 8 capas con un área de 121,92 cm x 30,48 cm (48" x 12") tiene un espesor que no supera los 1,27 cm (0.5"), de modo que la relación del cuadrado del espesor con respecto al área del detector es de 30 0.0005. Esta relación de espesor al cuadrado sobre el área es normalmente de un orden de magnitud o más, inferior a la relación comparable para los detectores por retrodispersión en los que la luz de centelleo la detecta directamente un foto-detector.

De acuerdo con otro modo de realización de la invención representado en la Fig. 7, el poder 35 de frenado útil del detector puede aumentarse combinando múltiples capas 701, 702 de WSF 400 (u otras guías de ondas ópticas) aumentando así la profundidad del material de

centelleo 403 a lo largo del recorrido de la radiación incidente.

Un modo de realización de un detector de centelleo con desplazamiento de longitud de onda de acuerdo con la presente invención, se muestra en la Fig. 8. las fibras con desplazamiento de longitud de onda 801 están embebidas en el material centellador 803, acoplando luz, y reduciendo su frecuencia para que la detecten los tubos fotomultiplicadores 805.

De acuerdo con los varios modos de realización que se han descrito hasta ahora, los extremos de la WSF están distribuidos en haces y acoplados ópticamente a al menos un foto-detectador. Ejemplos de foto-detectores adecuados incluyen los PMT y los fotomultiplicadores de silicio (SiPM).

Las ventajas del detector, cuya invención se describe en este documento, incluyen la eficiencia de detección y el bajo perfil geométrico de implementación. Esto permite una mayor libertad para diseñar un sistema de detección y hace que sean posibles nuevas aplicaciones con restricciones espaciales. La flexibilidad mecánica de la estructura del detector permite conformar la superficie del detector para adaptarse a la aplicación, tal como una implementación en la que un objeto del que se forma una imagen esté rodeado por un volumen de detección. El perfil bajo también hace que resulte relativamente fácil orientar y proteger la zona de detección para minimizar la detección de radiación dispersa indeseada (diafonía) de algún sistema cercano de formación de imágenes por rayos X.

La extracción de la luz de centelleo a lo largo de una región grande centelladora permite tener detectores con una gran relación de aspecto, de la anchura sobre la profundidad. En particular, detectores que delimitan ángulos espaciales de 0,1 sr, o más, se facilitan en modos de realización de la presente invención.

En un sistema típico de formación de imágenes por retrodispersión de rayos X, un haz estrecho de rayos X escanea un objetivo del que se ha formado imágenes con un movimiento lineal, mientras que los detectores de radiación alargados se disponen a ambos lados de una abertura de salida de una fuente de rayos X. A medida que el haz estrecho se mueve, la zona de detección más cercana al haz normalmente recibirá la señal más fuerte y la zona de detección más alejada del haz una señal menor. Si la zona de detección está segmentada en secciones que pueden leerse individualmente, la relación de señal sobre ruido del sistema de detección puede mejorarse leyendo solo los segmentos con una buena

relación de señal sobre ruido y despreciando los segmentos que contribuyen predominantemente con ruido a la suma de señales. La selección de segmentos que contribuyen a la detección puede hacerse basándose en la señal detectada en realidad o basada en la posición conocida del haz estrecho.

5

#### *Ventajas de la Fabricación del Centellador por Extrusión*

La extrusión, o proceso de "recubrimiento automático", descrito anteriormente con referencia a las Figs. 6A-6C, supone un claro contraste con los métodos típicos para depositar material de centelleo policristalino, tal como BaFCl(Eu), sobre una trasera plana. El método de extrusión para fabricar fibras individuales con desplazamiento de longitud de onda, recubiertas con un espesor uniforme de centellador, como se ha enseñado anteriormente, produce fibras que pueden contornearse de manera que las restricciones sobre la forma de un detector Sc-WSF se rijan principalmente por el requisito de una captura total en la fibra por reflexión total interna. El concepto de acoplamiento a fibras recubiertas uniformemente le aporta mayor libertad al diseño de detectores de retrodispersión (BX), especialmente al de los detectores manuales y los que se montan en robots, cuando se dispone de poco espacio.

#### *20 Detectores desplegables para aumentar la eficiencia geométrica de rayos X dispersos*

Algunos sistemas móviles de rayos X, como los descritos, por ejemplo en las patentes de los Estados Unidos Nº 5.764.683, de Swift, *et al.* y 7.099.434, de Chalmers *et al.*, quedando ambas incorporadas al presente documento por referencia, utilizan el método de retrodispersión de rayos X (BX) para inspeccionar coches y camiones desde un lateral. El primero usa detectores desplegados fuera de un transportador en funcionamiento, mientras que el último utiliza una zona de detección totalmente contenida en un habitáculo, concretamente bajo la cubierta de un transportador. Ambos utilizan detectores para grandes zonas a fin de maximizar la eficiencia en la detección por dispersión de rayos X. La cobertura zonal del detector por retrodispersión en el caso de un producto, de acuerdo con las enseñanzas de la Patente de Chalmers '434 abarca aproximadamente 1,86 metros cuadrados (20 pies cuadrados) de la superficie interior de un habitáculo que esté enfrente del objetivo. Este detector en una zona encubierta tiene una eficiencia geométrica relativamente pobre para recoger la radiación dispersa de objetivos altos o bajos. El perfil geométrico intrínsecamente profundo de tales detectores, necesario para la captura directa de la luz de centelleo por parte de los fotomultiplicadores, es un impedimento para su

despliegue fuera del furgón.

- Definiciones:* tal y como se usa en este documento y en cualquier reivindicación adjunta, el término "detector para grandes zonas" se refiere a cualquier detector individual, o a
- 5 cualquier módulo detector, que subtienda un ángulo de apertura de al menos 30° en cada una de dos direcciones ortogonales transversales tal y como se vería desde un punto en un objeto sometido a inspección de manera equivalente, caracterizado por un ángulo espacial de al menos  $\pi$  esteroradianes.
- 10 Un "transportador" será cualquier dispositivo caracterizado por una plataforma soportada sobre miembros en contacto con el suelo, tales como ruedas, raíles, peldaños, patines, etc., utilizados para transportar equipo de un lugar a otro.
- 15 Un detector Sc-WSF, de acuerdo con unos modos de realización de la presente invención, hace que resulte práctico el almacenamiento discreto de detectores para grandes zonas que pueden desplegarse rápidamente fuera del furgón en posiciones que potencian sustancialmente la eficiencia de la detección.
- 20 A continuación, con referencia, a la Fig. 9, un detector Sc-WSF de tipo toldo **1101** para grandes zonas, se muestra en una posición recogida, almacenada sobre el techo de una furgoneta de inspección por retrodispersión **1103**, y un detector fino de faldón **1105** se muestra en posición recogida por encima de una rueda de la furgoneta de inspección por retrodispersión. En la Fig. 10, tanto el detector de techo como el de faldón se muestran desplegados para aumentar el ángulo sólido a fin de detectar objetivos más altos y más
- 25 bajos, respectivamente; el detector de tipo toldo se despliega por encima de un objeto inspeccionado en el transcurso de una inspección, mientras que el detector de faldón está desplegado, al menos en parte, por debajo de la plataforma del transportador. En otro modo de realización de la invención descrito con referencia a la Fig. 11, un detector de tipo toldo **1301** puede desplegarse para objetivos bajos y cercanos, tal como para la detección de
- 30 contrabando en el maletero o en el lado más alejado de un coche **1303**. Un detector de tipo toldo **1301** puede deslizarse hacia fuera desde un tejado del transportador antes de la operación de inspección. La Fig. 11 también muestra el despliegue del detector de faldón Sc-WSF **1105** utilizado para examinar eficientemente los neumáticos, pasos de rueda, y el interior de vehículos cercanos.
- 35 *Detectores duales y de múltiples energías para la detección de transmisión de haces estrechos de rayos X de escaneado*

Los haces estrechos de rayos X de escaneado no solo revelan objetos analizando la radiación retrodispersada, sino que, en algunas aplicaciones, puede obtenerse información adicional mediante el análisis simultáneo de la radiación de transmisión (TX) y de la radiación dispersada hacia delante (FX). Los detectores de TX y FX no precisan estar segmentados dado que la zona de sección transversal del haz estrecho, junto con el tiempo de integración de la señal, definen el tamaño del pixel. Además, los detectores de TX y FX sólo necesitan ser detectores de energía total ya que, en la mayoría de las aplicaciones, el flujo de los rayos X de TX o FX es demasiado elevado para contar pulsos. Las pantallas de centelleo son los detectores tradicionales para tales aplicaciones de haz de escaneado. Los detectores Sc-WSFs extienden sustancialmente el abanico de aplicaciones de los detectores de centelleo TX y FX actuales, como dejan claro los siguientes ejemplos.

*TX para haces de rayos X de hasta al menos 250 keV*

15 La eficiencia de absorción de las pantallas de centelleo tradicionales, fabricadas, por ejemplo, con BaFCl(Eu) o Gadox, cae por debajo del 50 % para rayos X con energías por encima de ~80 keV. El punto del 50 % para dos capas es de aproximadamente 100 keV. A modo de distinción, el detector Sc-WSF puede fabricarse con más de dos capas de centellador sin aumentar sustancialmente el perfil del detector. Un detector Sc-WSF rentable, con 4 capas, puede utilizarse para TX con haces de rayos X de escaneado generados por un tubo de rayos X estándar de 140 keV. Un detector de múltiples capas tal como el detector de 9 capas, como se muestra en la Fig. 12, y que en general, se designa en la misma con el número **1400**, puede ser altamente eficaz para detectar rayos X 1402 emitidos por un tubo de rayos X estándar de 225 keV (que no se muestra), tal como el que se utiliza en la inspección por rayos X de vehículos a través de portales. Se muestran las capas **1404** de material centellador, y fibras WSF **1406** acopladas a foto-detectores **1408**.

*Detector TX transportable para un formador de imágenes de arriba-a-abajo en portales de inspecciones de tres lados*

30 El fino perfil del detector de transmisiones (TX) de múltiples capas hace que un detector de transmisiones (TX) sobre la parte superior de la carretera resulte práctico. Las Figs. 13A y 13B muestran tal detector dentro de un báden de control de velocidad de 5,08 cm (2 pulgadas) de altura 1131, lo suficientemente fuerte como para soportar una tractora-remolque con toda su carga, y que no requiere excavación alguna del terreno para

su despliegue. La fuente 1132 de radiación penetrante emite un haz en abanico 1134 incidente sobre un conjunto detector lineal 1135 dentro del bastidor 1136 del badén de control de velocidad. 1131 o una protuberancia similar por encima de una superficie subyacente. El conjunto detector 1135 incluye segmentos de material de centelleo 1137 separados por hojas 1138 con un número atómico elevado. Como se ha descrito anteriormente, por ejemplo con referencia a la Fig. 4, la luz de centelleo está acoplada a foto-detectores mediante fibras ópticas con desplazamiento de longitud de onda 1139.

*Detector TX segmentado para determinar el perfil de intensidad del haz del escáner*

10 A continuación con referencia a las Figs. 14A y 14B, se muestra un detector de transmisiones segmentado, que en general se designa con el número 1141, para medir el perfil de intensidad de un haz de escaneo de rayos incidentes 1143. La alineación del detector Sc-WSF 1141 (utilizado en la transmisión) con el plano del haz estrecho de 15 escaneado presenta un notable desafío cuando se despliega el detector TX para un sistema móvil de seguridad. La Fig. 14B muestra una sección transversal de un detector Sc-WSF vertical 1141 (al que también se hace referencia en este documento, cuando resulta apropiado, como "detector de transmisiones" o "detector TX detector") con una lectura independiente de las fibras 1145 de las WSF, proporciona los medios para medir 20 simultáneamente tanto la intensidad transmitida de cada pixel como la distribución lineal por toda la anchura del haz para determinar su posición centroide. Las fibras 1145 se enrutan en haces 1147 hasta los foto-detectores 1149 individuales tal como los PMT. La distribución de la intensidad puede extenderse para obtener la intensidad de la dispersión hacia delante, que contiene información útil con respecto al material dispersador, y da una medida de la 25 radiación dispersada hacia dentro que se está contando como intensidad de Transmisión.

La posición relativa del plano detector y del plano de rayos X de escaneado puede controlarse automáticamente. El detector para este concepto se muestra esquemáticamente en la Fig. 14A. Puede proporcionarse una superficie reflectora 1148 en 30 el extremo del detector 1141 distal a los foto-detectores 1149.

Con un único canal de datos para una señal de transmisión, la resolución espacial a lo largo de la dirección del tráfico (transversal a un haz de rayos X iluminador con forma de abanico) viene determinada por la menor de las dos dimensiones siguientes: la anchura de la zona 35 sensible del detector o el tamaño del haz transversal al detector TX. (A efectos heurísticos, en esta descripción no se contemplan casos de submuestreo). La resolución espacial

puede mejorarse, sin embargo, estrechando la zona sensible del detector, como se describe a continuación con referencia a la Fig. 14C. De acuerdo con unos modos de realización de la presente invención, la resolución espacial transversal a la dirección del tráfico (a lo largo de la línea de detección) se potencia empleando múltiples detectores de un grupo de detectores **1450** asociados con una pluralidad de canales (A, B, C, en la Fig. 14C) y entrelazando sus zonas sensibles. El espaciado del patrón de entrelazado depende de la anchura del haz a lo largo del detector. Idealmente, el espaciado (es decir, la distancia entre dos detectores **1451** y **1454** asociados a un único canal "A") tiene que ser lo bastante grande como para que dos segmentos detectores del mismo canal de detección no reciban a la vez radiación directa del haz. El perfil de intensidad del haz está representado con el número **1456**. Por razones prácticas, el requisito no es tan estricto, puesto que cierta cantidad de diafonía entre píxeles resulta aceptable. Las múltiples imágenes resultantes tienen que estar entrelazadas, empleando cualquier método, incluyendo métodos muy conocidos en el estado de la técnica, para crear una imagen de mayor resolución. Cabe destacar que la mejora de la resolución espacial en el detector se produce a expensas del flujo y está, por tanto, limitada por consideraciones de señal sobre ruido.

Otra configuración dentro del ámbito de la presente invención incluye una combinación del detector vertical **1141** que se muestra en la Fig. 14A con un detector de carretera horizontal **1135** de la Fig. 13B para formar un detector con forma de L que es ventajosamente fácil de instalar y de alinear.

En otro modo de realización adicional de la invención, un grupo de detectores de transmisiones **1450** (independientemente de la orientación geométrica, ya sea vertical, horizontal, con forma de L, etc.) está segmentado en una pluralidad de unidades; tales como B, C y A de la Fig 14C. Tal y como se muestra, el perfil del haz **1456** es simétrico con respecto a B y A de modo que la relación de intensidades medidas sea una unidad. Si, por la razón que fuera, cambiara la alineación, esa relación cambiará drásticamente. Si la alineación se desfase cuando un haz estrecho de iluminación de rayos X escanea de arriba a abajo, el cambio en la relación de B/A mide los dos, el desfase y la desviación lateral. Los datos recogidos pueden entonces corregirse para tal desviación línea a línea.

*Detectores TX de energía dual y múltiples energías para identificación material*

Separar las señales de las capas frontales y de las capas traseras del centellador permite que la capa frontal dé una medida del componente de baja energía de cada pixel mientras que la capa trasera da una medida de los componentes de alta energía. Poner una capa de material absorbente entre el centellador frontal y el trasero es un modo estándar de

potenciar la diferencia entre componentes de alta y baja energía, y eso se consigue fácilmente con un detector Sc-WSF.

- El detector Sc-WSF hace que resulte práctico el detector de energía dual consistente en
- 5 una capa de Sc-WSF, tal como BaFCI-WSF, sobre un detector de centellador plástico; el BaFCI es sensible a los rayos X de baja energía y no a los rayos X de alta energía, mientras que el detector plástico es sensible a los rayos X de alta energía y muy insensible a los rayos X de baja energía,
- 10 Es posible fabricar un discriminador de material alternativo y potencialmente más eficaz, utilizando más de dos capas independientes de Sc-WSF, con lecturas separadas para cada capa. Un absorbador pasivo, tal como un espesor apropiado de cobre, puede insertarse después de la Sc-WSF superior para potenciar la aplicación de energía dual, tal y como se practica con detectores segmentados. Como alternativa, el centellador intermedio
- 15 puede utilizarse como capa absorbente activa. La medición de tres parámetros independientes permite obtener una medida tanto del número atómico medio de los materiales atravesados como el alcance del endurecimiento del haz. El Sc-WSF puede extenderse más para obtener más de tres valores energéticos para cada píxel, siendo el límite las incertidumbres estadísticas, que aumentan con el número de componentes. El
- 20 detector **1400** que se muestra en la Fig. 12 es un ejemplo extremo de semejante detector.

Una importante aplicación de TX de energía dual es en escáneres de rayos X para personas en las terminales de los aeropuertos. Proporcionar imágenes TX simultáneamente con BX ha demostrado ser útil en las inspecciones. El añadir energía dual

25 a las imágenes TX hasta ahora resultaba poco práctico principalmente debido a las limitaciones de tamaño impuestas por los detectores convencionales. El Sc-WSF elimina esas limitaciones y promete mejorar considerablemente el rendimiento, ya que múltiples detectores, con distintas sensibilidades de energía, pueden apilarse, como se muestra en la Fig. 15, en la que un detector de energía dual o múltiple **1500** incluye un detector Sc-WSF

30 **1508**, sensible a un componente más bajo de energía de rayos X incidentes **1501**, situado enfrente de una plancha de centellador plástico **1502**, que es sensible a los rayos X de energía más alta. El detector Sc-WSF **1508** contiene una lectura de centellador **1504** mediante dos capas de fibras WS **1506**.

- 35 *Detector de radiación compacto de radiación gamma y de neutrones*

- El método Sc-WSF hace que resulte práctico un pequeño, ligero y económico monitor de neutrones y rayos gamma 1601. El BaFCI(Eu)-WSF es bastante sensible a la radiación gamma a la vez que es insensible a los neutrones, mientras que el Li<sup>6</sup>F:ZnS(Ag)-WSF es insensible a los rayos gamma y bastante sensible en la detección de neutrones térmicos. La
- 5 Fig. 16 muestra un intercalado multicapa en "sándwich de varios pisos" que consiste en una o más capas 1602 de BaFCI(Eu), leído por un único foto-detecto (no se muestra) mediante fibras ópticas 1604, y una o más capas 1606 de Li<sup>6</sup>F:ZnS(Ag)-WSF, leído por un segundo, foto-detecto independiente (no se muestra), con los elementos activos ocupando un espesor de no más de uno o dos centímetros. Una capa apropiada de moderador de
- 10 neutrones 1612, tal como el polietileno, puede situarse a cualquier lado del Li<sup>6</sup>F:ZnS(Ag)-WSF para potenciar la eficiencia en la detección de neutrones. Una lámina ópticamente reflectora 1608, tal como una lámina de aluminio, confina el centelleo a las respectivas regiones de detección.
- 15 La solicitud de patente de los Estados Unidos, con Nº de serie 13/163.854 (de Rothschild), titulada "Detector with Active Collimators", y que queda incorporada al presente documento por referencia, describe un módulo de detección por retrodispersión 30 que aumenta la profundidad de la inspección, distinguiendo la dispersión del campo cercano y del lejano de los objetos inspeccionados, como se ha representado en la Fig. 17. El ángulo de un juego
- 20 de hojas de colimación activas 31 puede o bien ajustarse una vez en fábrica, o puede conectarse a cualquier tipo de dispositivo electromecánico provisto para ajustarse dinámicamente a las mismas, dependiendo del tipo y/o de la distancia del objeto que se esté escaneando. La luz de centelleo de las hojas de colimación es detectada por uno o más foto-detectores (por ejemplo, por PMT 32 situados en la parte superior e inferior del
- 25 compartimento del detector). Un compartimento posterior 36 del detector está aislado ópticamente de un compartimento frontal 35 mediante un tabique ligero 34, y la luz de centelleo de los rayos X detectados en el compartimento posterior 36 se recoge con un segundo juego de uno o más foto-detectores (por ejemplo, PMT 37 montados en la cara posterior del detector). El compartimento posterior puede estar revestido con una pantalla
- 30 centelleante de fosforo, por ejemplo, o, en otros modos de realización de la invención puede contener plástico o centellador líquido.
- Una adición útil a una unidad estándar de retrodispersión sería un colimador de tipo "persiana veneciana" fabricado con centellador. Las lamas interceptan la radiación que no entra directamente a través de los huecos entre lamas, de manera que los detectores de
- 35 caja preferentemente detecten objetos situados más hacia el interior. Los colimadores activos registran la radiación rechazada. Los PMT detectan la luz de los colimadores

activos, cuya eficiencia de recogida disminuye rápidamente a medida que disminuyen los huecos entre colimadores. Sustituir los PMT y las hojas de centelleo por hojas que consisten en detectores Sc-WSF resuelve los principales inconvenientes y hace que el colimador de tipo persiana veneciana resulte práctico. En primer lugar, la recogida de luz es 5 independiente del ancho del hueco entre hojas. En segundo lugar, la zona activa de los PMT o fotomultiplicadores de silicio utilizados para recoger la luz de los colimadores activos es en general, mucho menor que la zona activa necesaria de los PMT, de manera que el coste de los foto-detectores es inferior. En tercer lugar, la colocación del foto-detector al 10 final de los haces de WSF no es crítica para la eficiencia de la recogida de luz. En cuarto lugar, las señales de las WSF de cada lama pueden procesarse independientemente, ofreciendo un margen considerable para maximizar la información sobre el interior del 15 objeto inspeccionado. En quinto lugar, la luz de las pantallas finas de centelleo en el frontal y la trasera de cada hoja pueden recogerse mediante WSF independientes, lo que puede mejorar considerablemente la profundidad de discriminación.

15 Las Figs. 18C y 18D representan (en una vista en perspectiva y en sección transversal, respectivamente) un colimador activo WSF 181 sensible a los rayos X que impactan desde cualquiera de los lados del centellador La luz de centelleo desde ambas regiones de centelleo 182 está acoplada a foto-detectores mediante fibras ópticas de desplazamiento 20 de longitud de onda 183. Las Figs. 18A y 18B muestran (en una vista en perspectiva y en sección transversal, respectivamente) un colimador activo WSF 185 con lecturas independientes 187 separado por un absorbedor de rayos X hermético a la luz 189 para distinguir la radiación que golpea cada cara. Por ejemplo, cada colimador 185 puede 25 consistir en un modo de realización, de dos capas de detectores Sc-WSF 182, que contiene cada una, una densidad de área de 60 mg BaFCkEu por cm<sup>2</sup>. El absorbedor de rayos X hermético a la luz 189 puede consistir en una capa fina de hojalata, que también proporciona soporte estructural.

#### *Detectores para mini sistemas de inspección de retrodispersión*

30 La finura de los detectores Sc-WSF les proporciona un potencial único para aplicaciones en las que un peso y una potencia reducidas sean cruciales. Con referencia a las Figs. 19A y 19B, un sistema manual de formación de imágenes 193 supone un ejemplo de semejante aplicación. Los requisitos de potencia, tiempo de inspección, y, calidad de la imagen, se ven 35 todos afectados por el ángulo sólido de detección. Un detector tradicional con, por ejemplo, una sección transversal de 10 cm x 10 cm (100 cm<sup>2</sup>), pesa aproximadamente medio kilo.

Se puede hacer un Sc-WSF de 10 cm cúbicos, que no pese más del doble, a partir de detectores Sc-WSF individuales de 10 cm x 10 cm, con un espesor de menos de 5 mm cada uno, que puede desplegarse para presentar una zona de detección por retrodispersión de al menos 2.000 cm<sup>2</sup>, un incremento de veinte veces en este ejemplo. La cobertura adicional de detección puede alcanzar una mejora en el orden de magnitud del rendimiento del sistema manual.

El perfil fino de los detectores Sc-WSF descritos en este documento proporciona la posibilidad de ajustar detectores contorneados en pequeños espacios. Por ejemplo, los detectores pueden adaptarse para escáneres personales limitados a encajarse en los reducidos espacios de inspección de los aeropuertos.

La Fig. 19 muestra un ejemplo en el que cuatro detectores 191 se pliegan o deslizan fuera del escáner manual 193 para aumentar sustancialmente la eficiencia del detector, especialmente para objetos escondidos más profundamente en el objeto que se está inspeccionando. Los detectores por retrodispersión 195 se extienden a ambos lados de los haces de radiación 197.

#### *Inspección por retrodispersión en los bajos de vehículos parados*

La inspección de los bajos de vehículos con un sistema portátil de retrodispersión de rayos X presenta problemas especiales. La distancia al suelo de los coches no supera los 20,32 cm (8") y puede ser tan corta como 15,24 cm (6"). Los sistemas de inspección fijos, tales como los portales, pueden colocar un detector en el suelo o como se ha descrito anteriormente, puede colocarse sobre el suelo utilizando un Sc-WSF. Sin embargo, nunca se han desarrollado sistemas móviles de inspección de bajos de vehículos. Los inspectores dependen de herramientas de inspección pasivas tales como espejos y cámaras, que pasan por alto el contrabando en los depósitos de combustible o que está camuflado para parecer inocuo.

Los detectores Sc-WSF hacen que resulte práctico un sistema de retrodispersión de rayos X que no mida más de 15,24 cm (6") de altura. A continuación se describe un bosquejo de un sistema práctico con referencia a las Figs. 20A y 20B. La fuente de rayos X consiste en un escáner electromagnético 221 de un haz de electrones a través de un ánodo. El escáner electromagnético 221 está accionado por un módulo electrónico 223. Los rayos X están colimados por un grupo lineal de aberturas 225 que abarcan, por ejemplo, 76,20 cm (30") de

los bajos de una pasada. Los detectores Sc-WSF 227 se montan a cada lado del tubo de rayos X de modo que detecten rayos X 236 retrodispersados desde un vehículo 229. Las fuentes de suministro eléctrico, los procesadores de pulsos e imágenes pueden montarse adecuadamente. El bastidor 234 de la unidad de inspección 230 sobre ruedas 232 puede 5 adaptarse para maniobrarse por debajo del vehículo 229 mediante un motor o un control manual.

*Transmisión móvil de inspección con grupo de segmentos de detección en forma de L*

10 De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, a continuación se describe un sistema móvil de inspección, designado en general con el número 240, con referencia a las Figs. 21A y 21B. Una fuente de radiación penetrante (que no se muestra, y que se describe en este documento, sin limitación, en términos de rayos X) se traslada dentro de una unidad móvil de inspección 241, que, normalmente, es capaz de moverse con su propia fuente de 15 energía, aunque también podría remolcarse o transportarse de otra manera dentro del ámbito de la presente invención. Un haz 242 de radiación penetrante se emite desde la unidad móvil de inspección 241, ya sea como haz de barrido fino o como haz en abanico, en cualquier caso se emite en el plano designado como haz de representación 242 en la Fig. 21A. El objeto inspeccionado 244, que puede ser un vehículo tal y como se muestra, u otro 20 tipo (como mercancía transportada), atraviesa el haz 242 en el transcurso de una inspección, y en el recorrido de su trayectoria, pasa sobre una unidad integral de detección con forma de L 245, como se describe a continuación en más detalle. La unidad de detección 245 tiene un segmento horizontal 246 y un segmento erecto 247, como se indica en la Fig. 21B.

25

Cada uno de los segmentos horizontal y erecto 246 y 247 de la unidad de detección en forma de L 245 puede comprender múltiples capas paralelas 249, que proporcionan resolución energética dual o de manera más general múltiple de rayos X detectados, para proporcionar una identificación material, tal y como se ha descrito antes con referencia a la 30 Fig. 12. Además, un grupo erecto de segmentos de detección 247 puede tener múltiples segmentos de detección 248 en una dirección transversal a la dirección del haz 242 y sustancialmente a lo largo de la dirección de movimiento relativo entre el objeto inspeccionado 244 y el haz 242 de modo que proporcione una indicación de asimetría o desviación lateral de los detectores con respecto al haz, tal y como se ha descrito antes con 35 referencia a las Figs. 14A - 14C. La unidad detectora integral con forma de L 245 puede trasladarse a un punto de inspección a bordo de una unidad móvil de inspección 241 o de

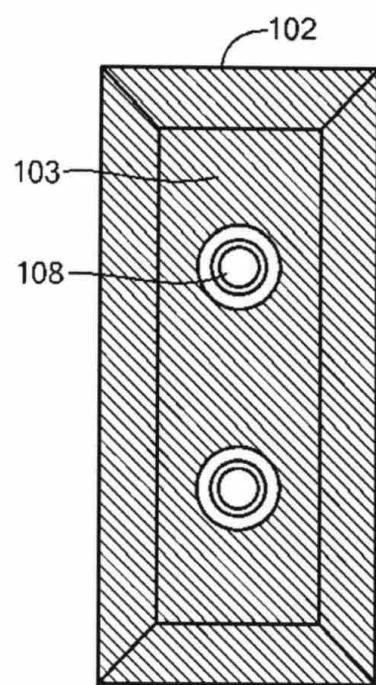
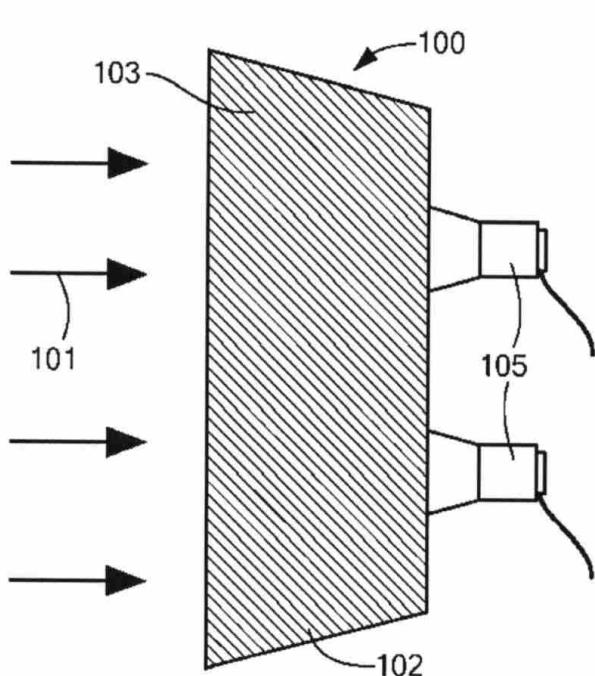
un remoque o arrastrarse de otro modo en un remolque 250 adjunto, y puede ensamblarse, en parte, al desplegar en el punto de inspección. Pueden emplearse ayudas complementarias de alineación, tal como un láser de alineación 251, para establecer la posición y la orientación adecuadas de la unidad detectora 245 con respecto a la unidad 5 móvil de inspección 241 y al haz 242.

Cuando los ejemplos que se presentan en este documento impliquen combinaciones específicas de las actuaciones de un método o de los elementos de un sistema, deberá entenderse que estas actuaciones y estos elementos pueden combinarse de otros modos 10 para alcanzar los mismos objetivos de detección de rayos X. Además, características individuales del dispositivo podrían cumplir los requisitos de los elementos, enunciados independientemente en una reivindicación. Los modos de realización de la invención descritos en este documento tienen por objeto servir de ejemplo; ya que variaciones y 15 modificaciones de los mismos resultarán evidentes para los expertos en la materia. Se pretende que todas estas variaciones y modificaciones se encuentren dentro del ámbito de la presente invención tal y como se define en cualquiera de las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

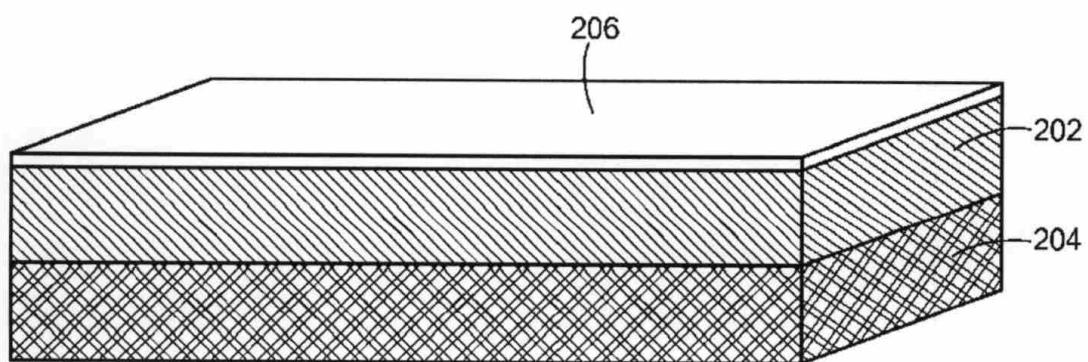
1. Dispositivo móvil de inspección por rayos X para inspeccionar un objeto inspeccionado, caracterizado por que comprende:
  - 5 a. una fuente de radiación de rayos X dispuesta sobre un transportador que tiene una plataforma y miembros en contacto con el suelo; y
  - b. un detector de centelleo acoplado mediante fibra desplegado fuera del transportador durante la operación de inspección para detectar los rayos X que han interactuado con el objeto inspeccionado.
- 10 2. Dispositivo móvil de inspección por rayos X de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que además comprende un detector de centelleo de tipo toldo acoplado mediante fibra desplegado por encima del objeto inspeccionado en el transcurso de una inspección.
- 15 3. Dispositivo móvil de inspección por rayos X de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que el detector de tipo toldo se desliza hacia fuera desde un tejado del transportador antes de la operación de inspección.
- 20 4. Dispositivo móvil de inspección por rayos X de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que además comprende un detector de tipo faldón desplegado por debajo de la plataforma del transportador.
- 25 5. Dispositivo móvil de inspección por rayos X de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que además comprende un detector de techo para la detección de espacios más altos que el transportador.
- 30 6. Dispositivo móvil de inspección por rayos X de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que además comprende segmentos de detección de centello sustancialmente horizontales y sustancialmente erectos acoplados mediante fibra.
- 35 7. Dispositivo móvil de inspección por rayos X de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por que los segmentos de detección de centello sustancialmente horizontales y sustancialmente erectos acoplados mediante fibra están formados en una estructura integral.

8. Dispositivo móvil de inspección por rayos X de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el detector de centelleo acoplado mediante fibra está contenido dentro de la capa superficial del transportador.

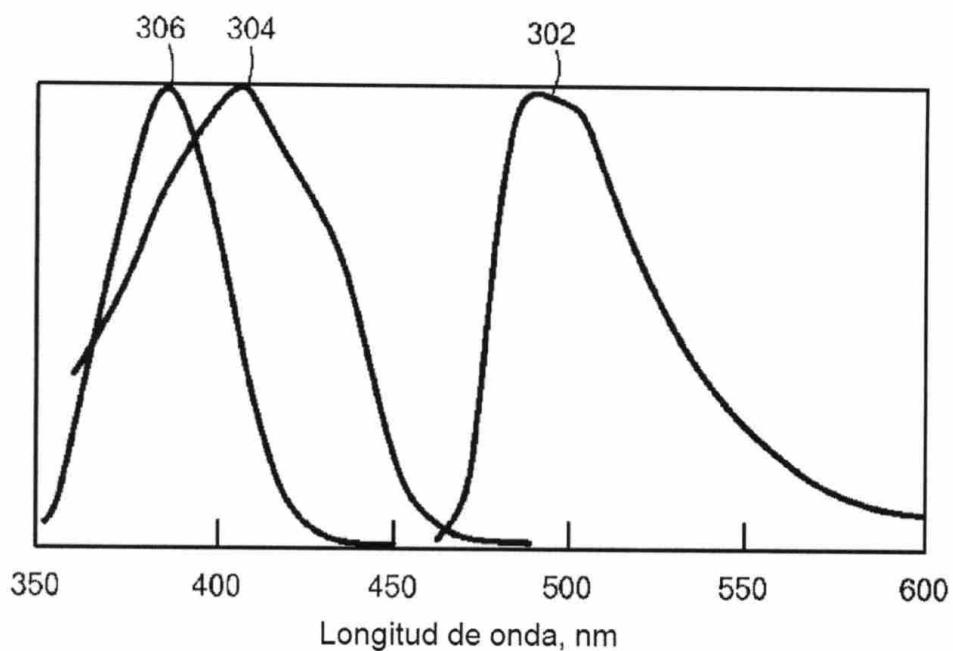


**FIG. 1A**  
TÉCNICA ANTERIOR

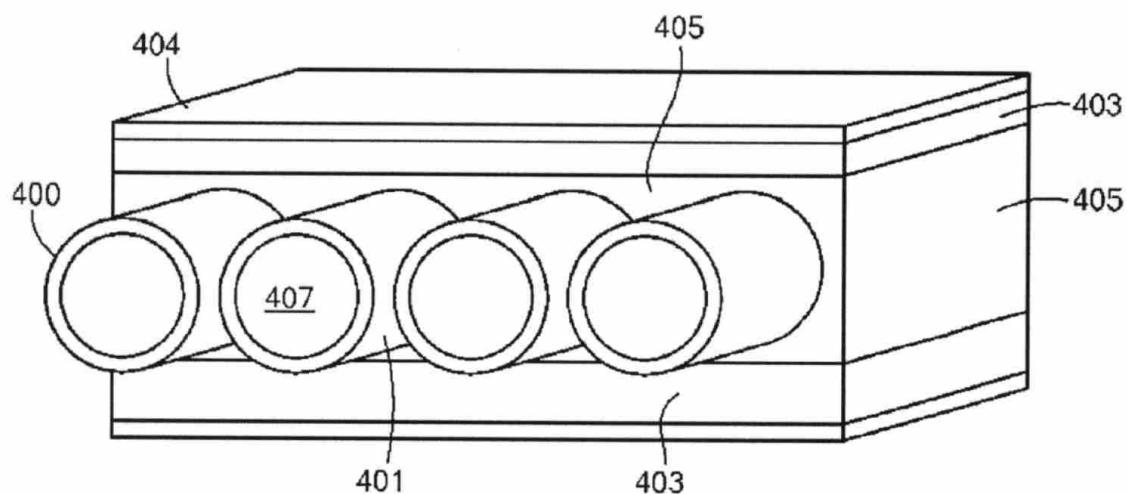
**FIG. 1B**  
TÉCNICA ANTERIOR



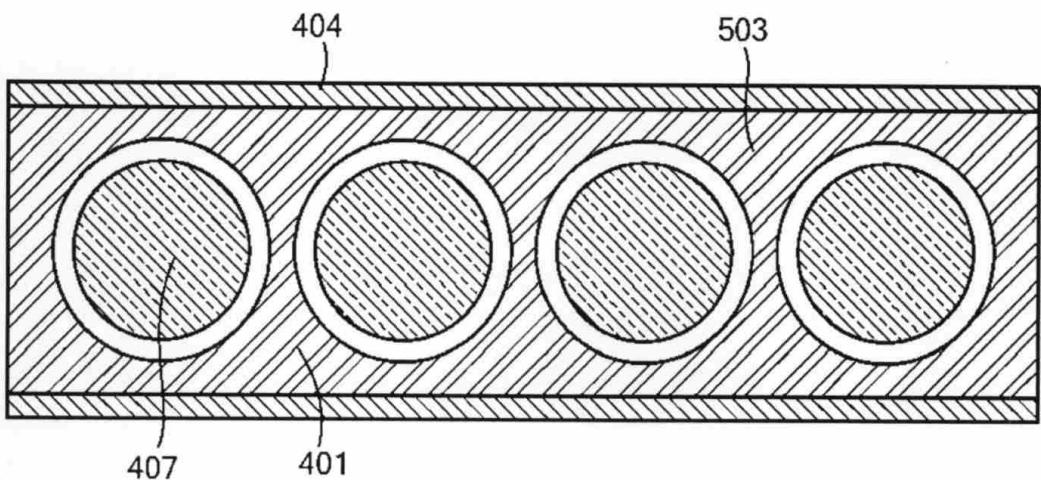
**FIG. 2**  
TÉCNICA ANTERIOR



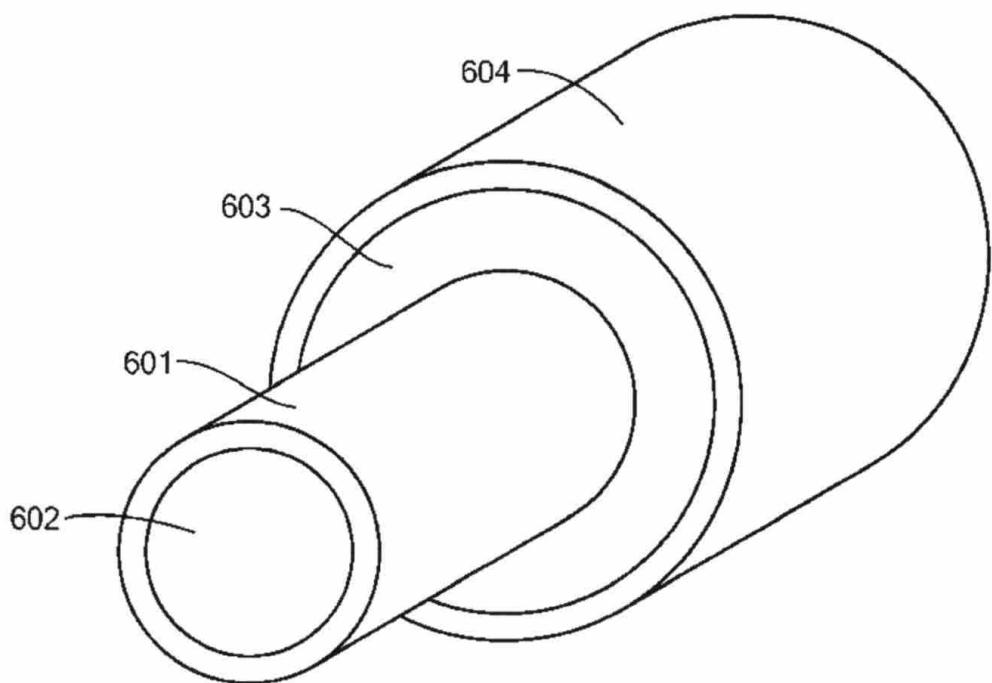
**FIG. 3**  
TÉCNICA ANTERIOR



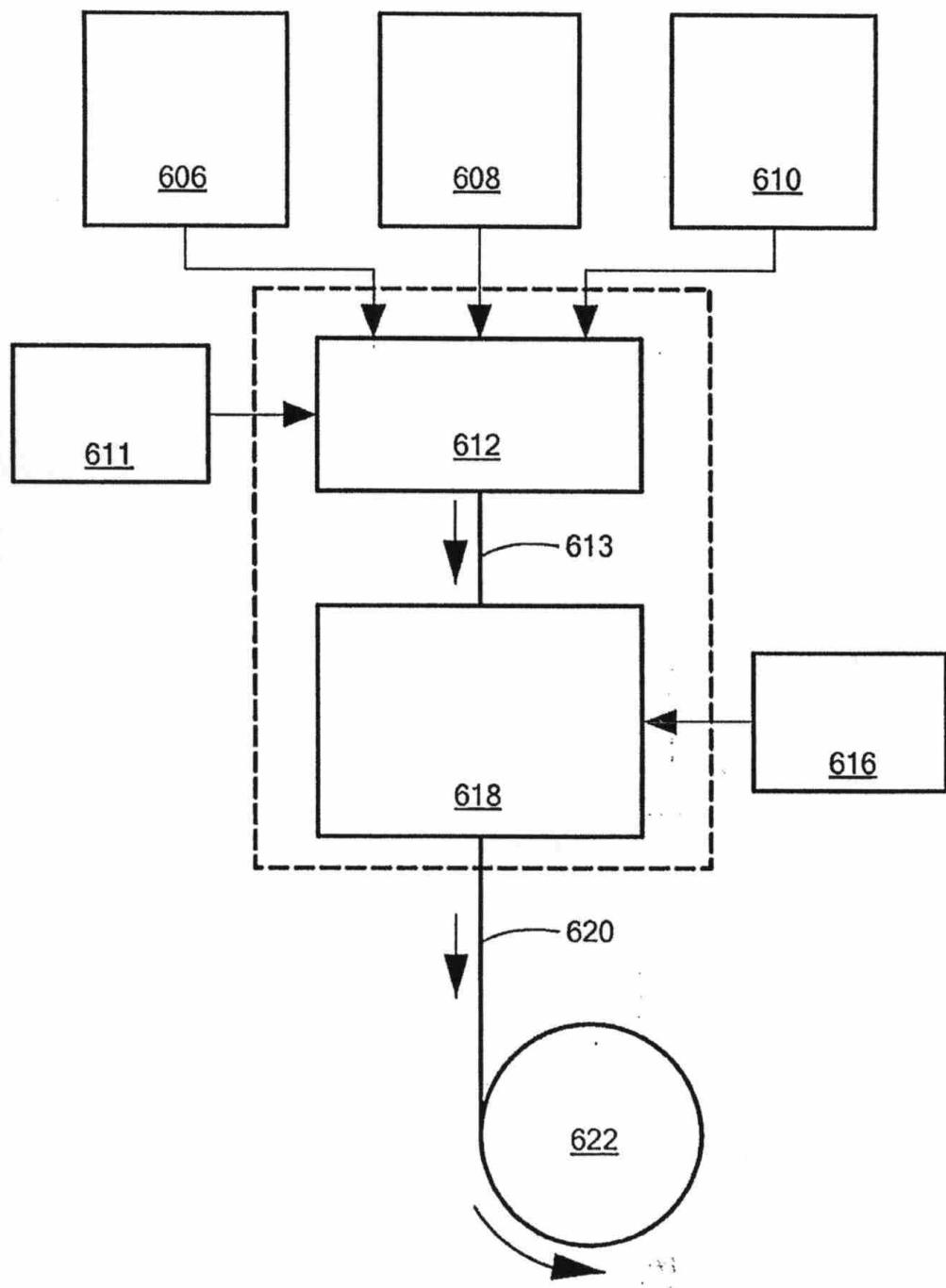
**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6A**



***FIG. 6B***

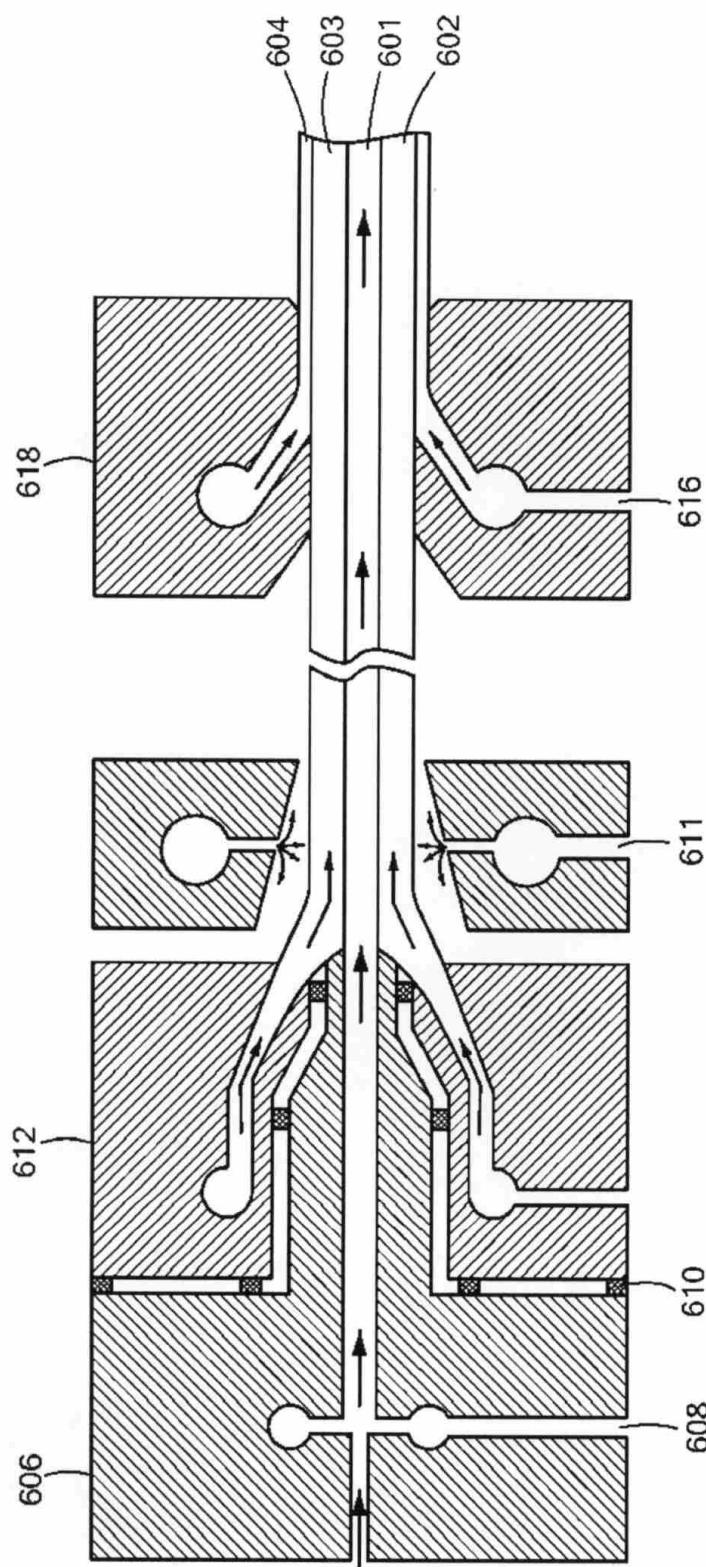
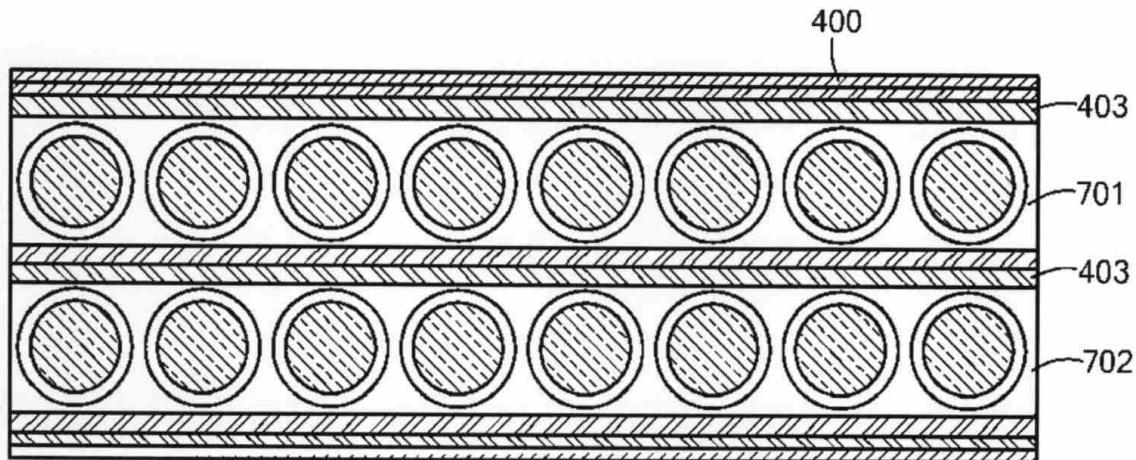
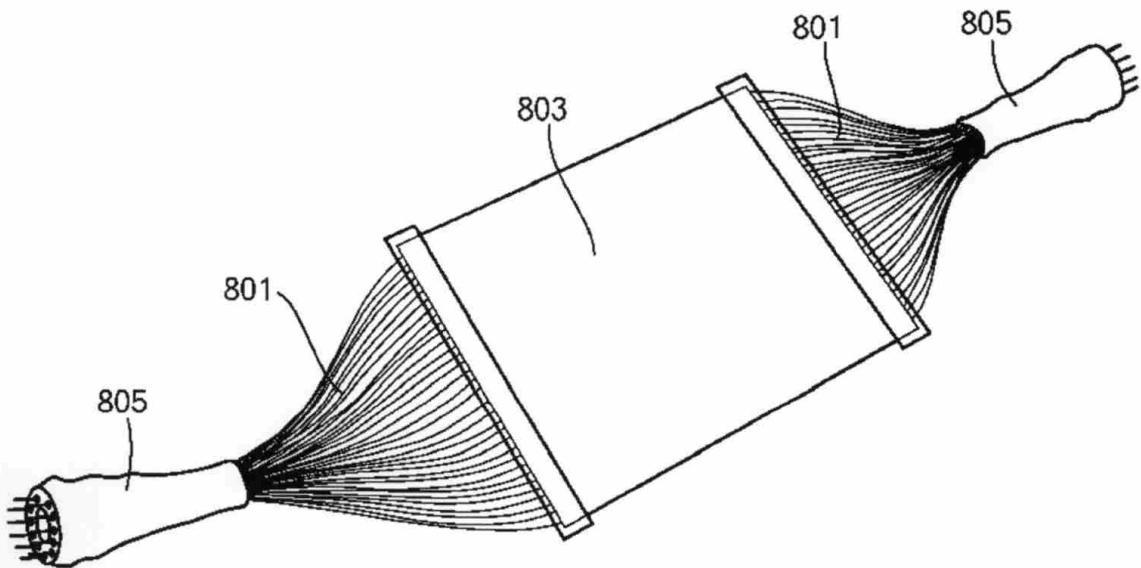


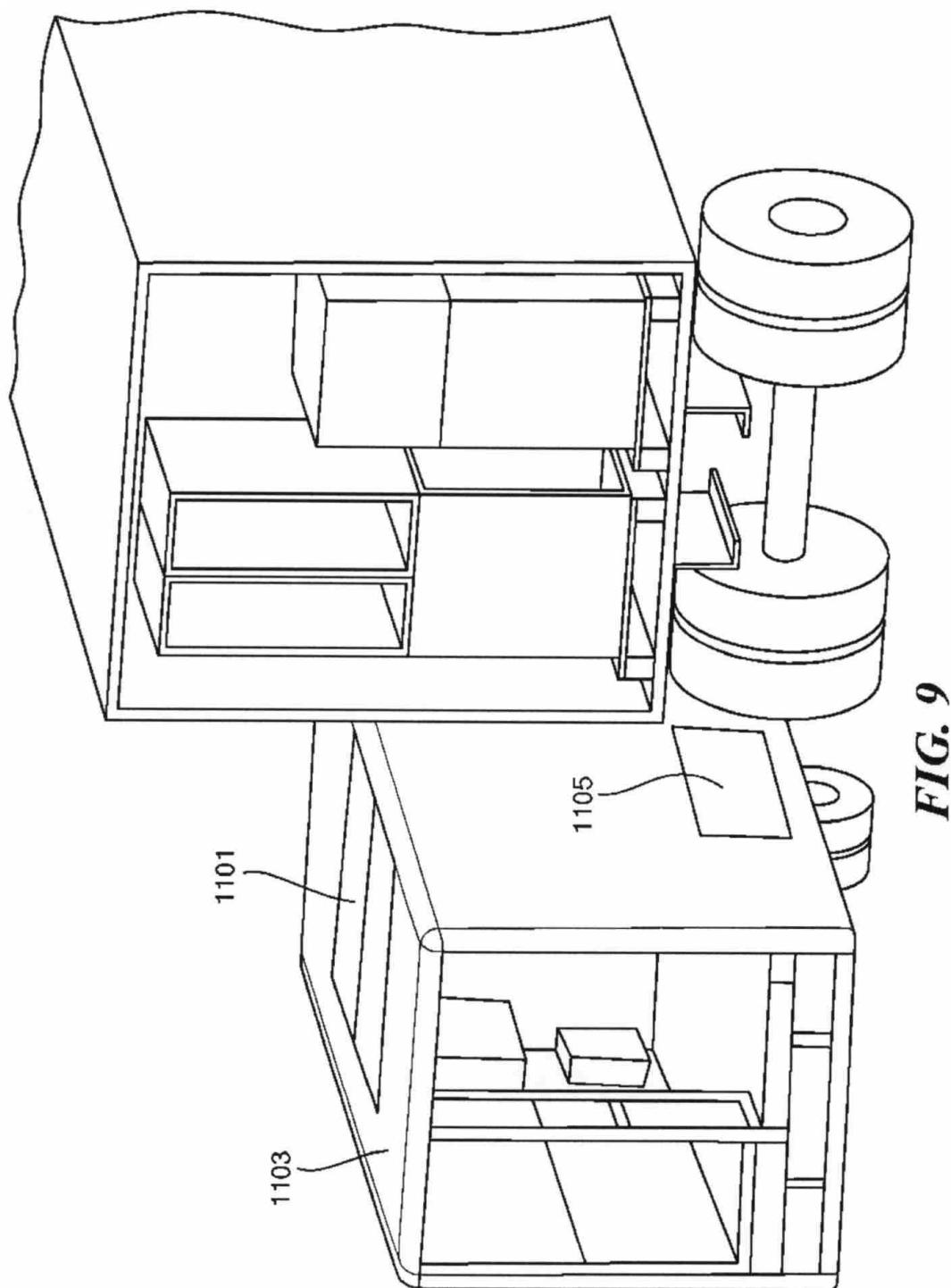
FIG. 6C



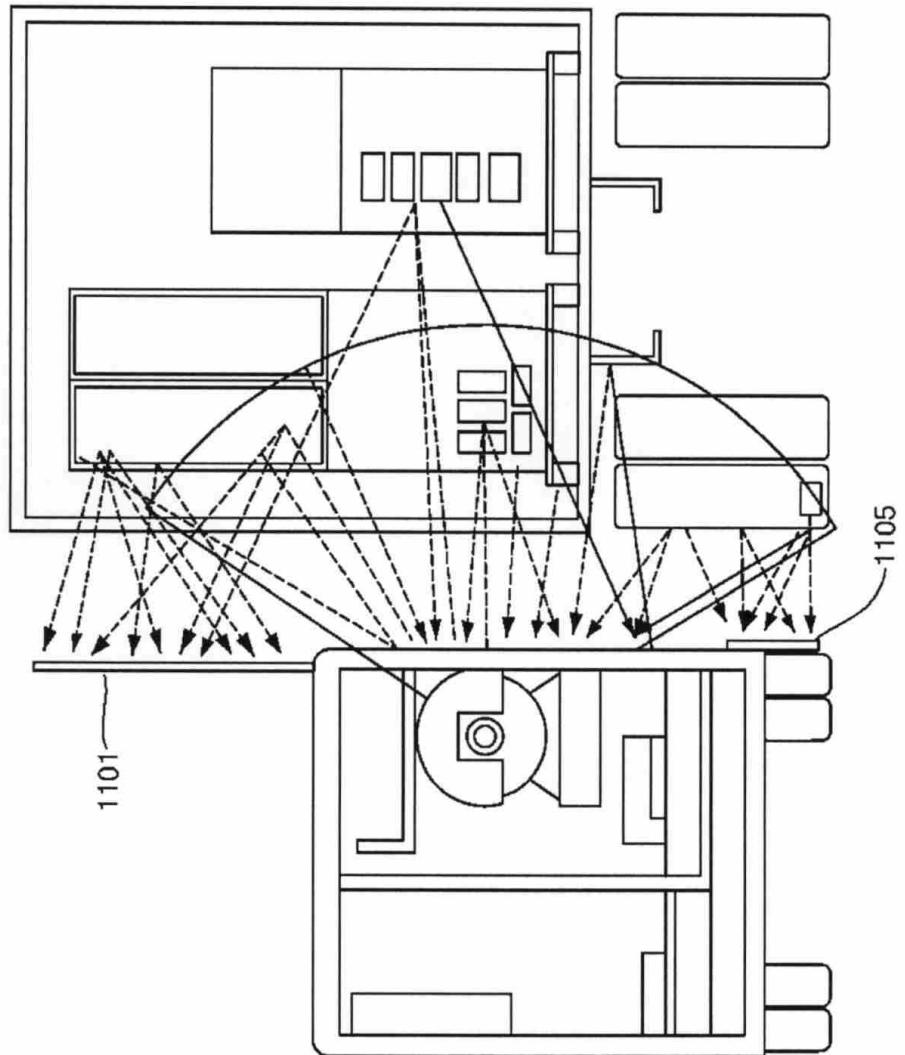
***FIG. 7***



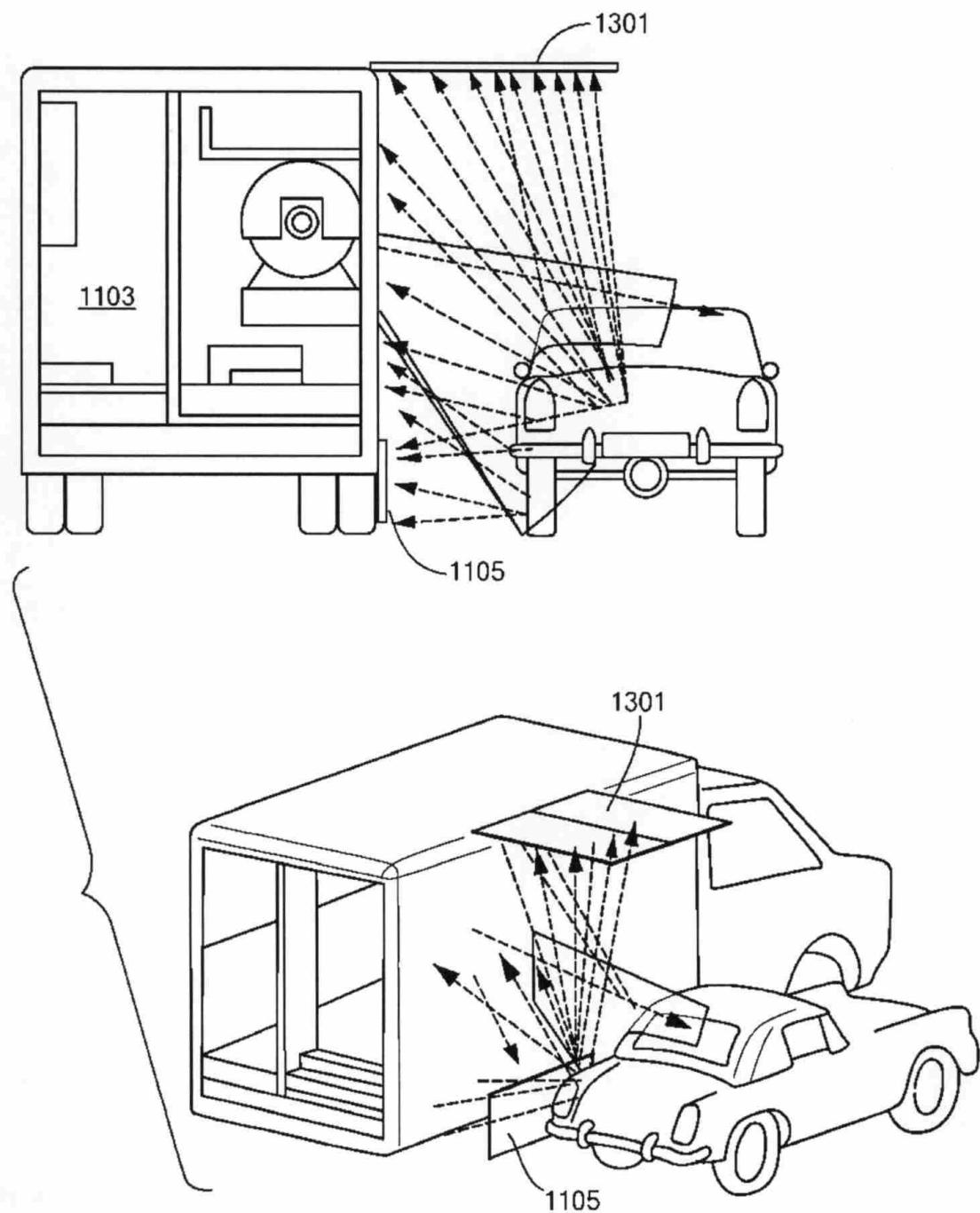
***FIG. 8***



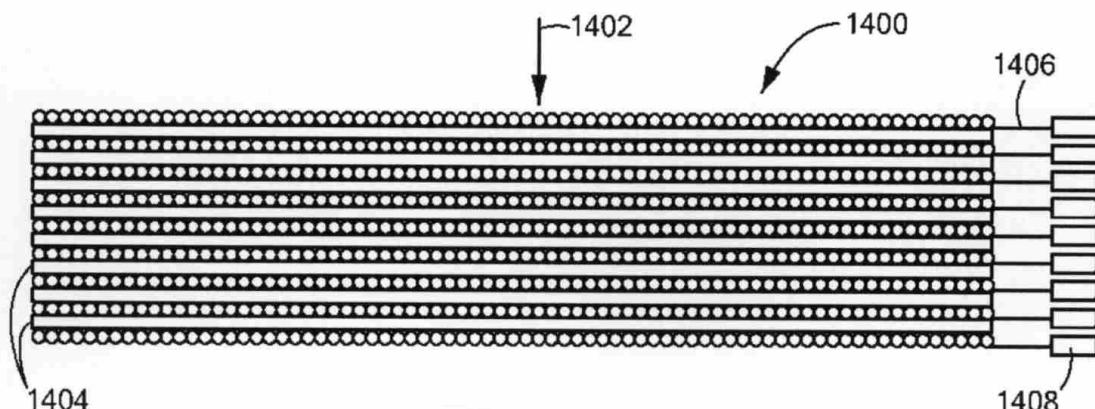
**FIG. 9**



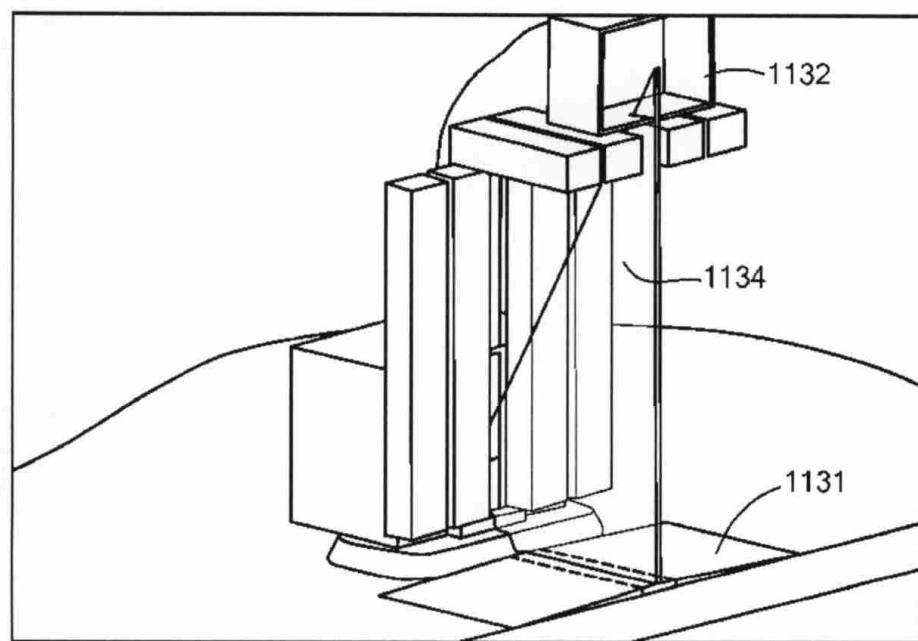
*FIG. 10*



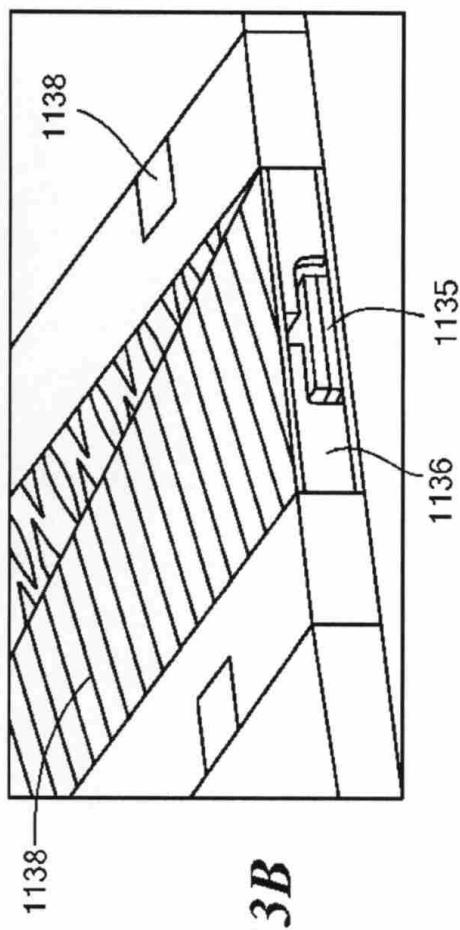
**FIG. 11**



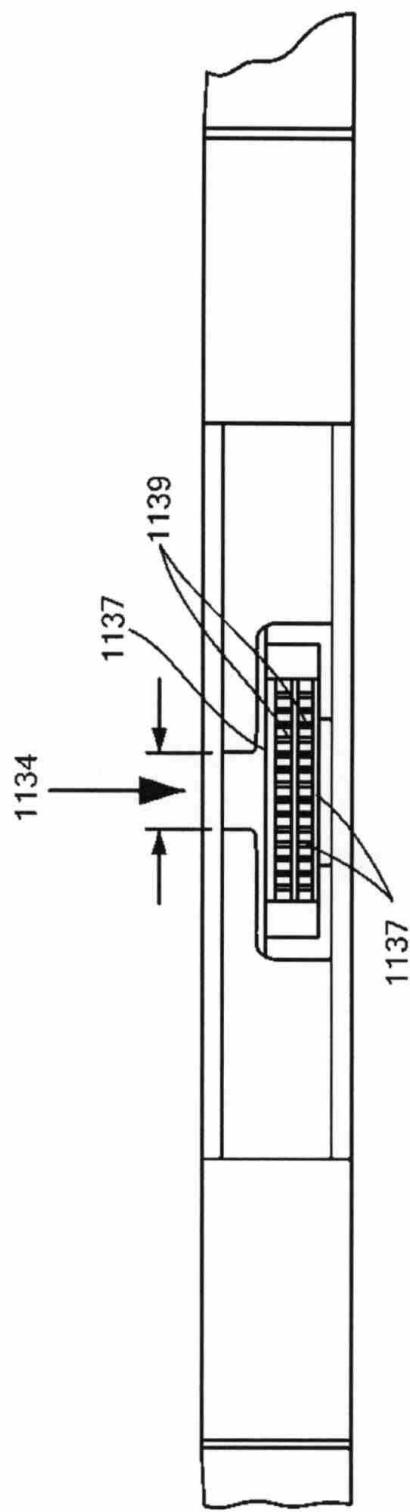
**FIG. 12**



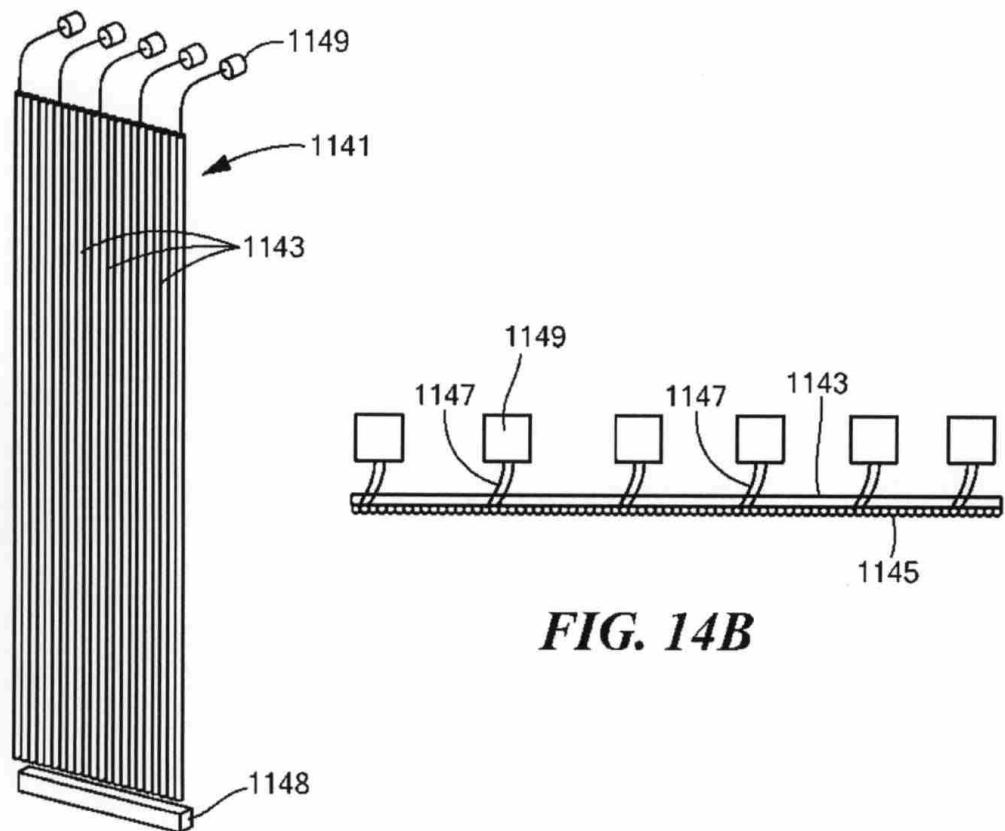
**FIG. 13A**



*FIG. 13B*

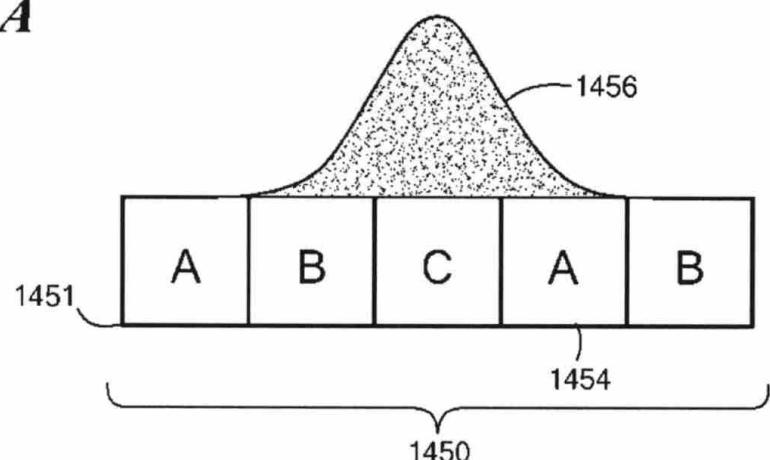


*FIG. 13C*

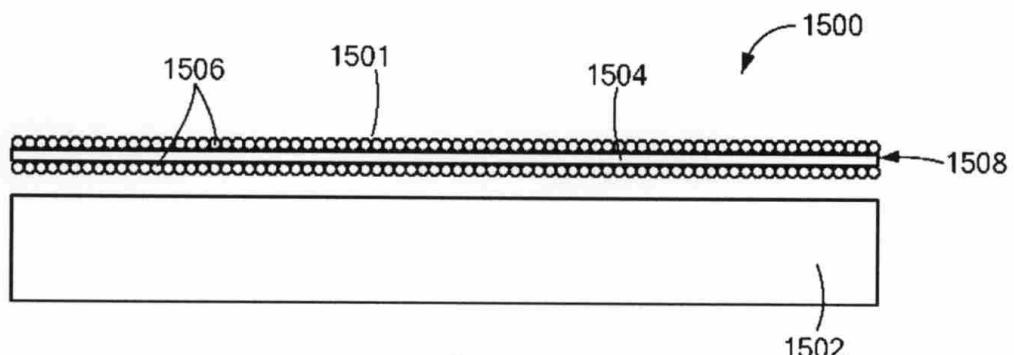


**FIG. 14B**

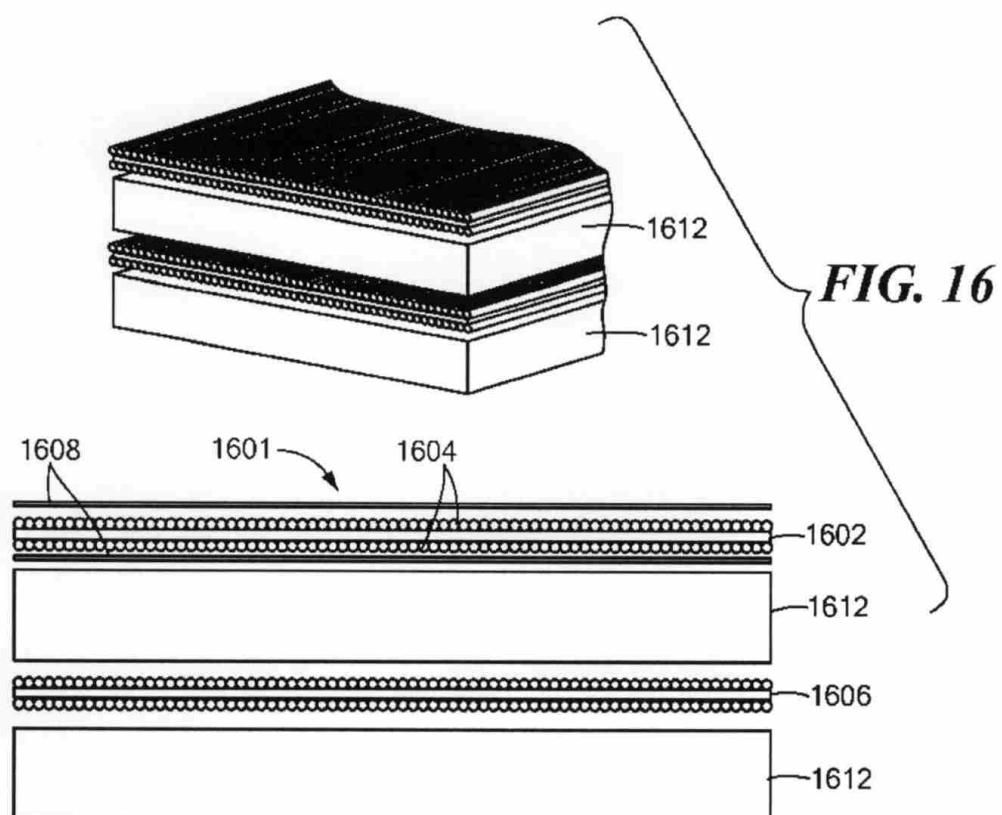
**FIG. 14A**



**FIG. 14C**



**FIG. 15**



**FIG. 16**

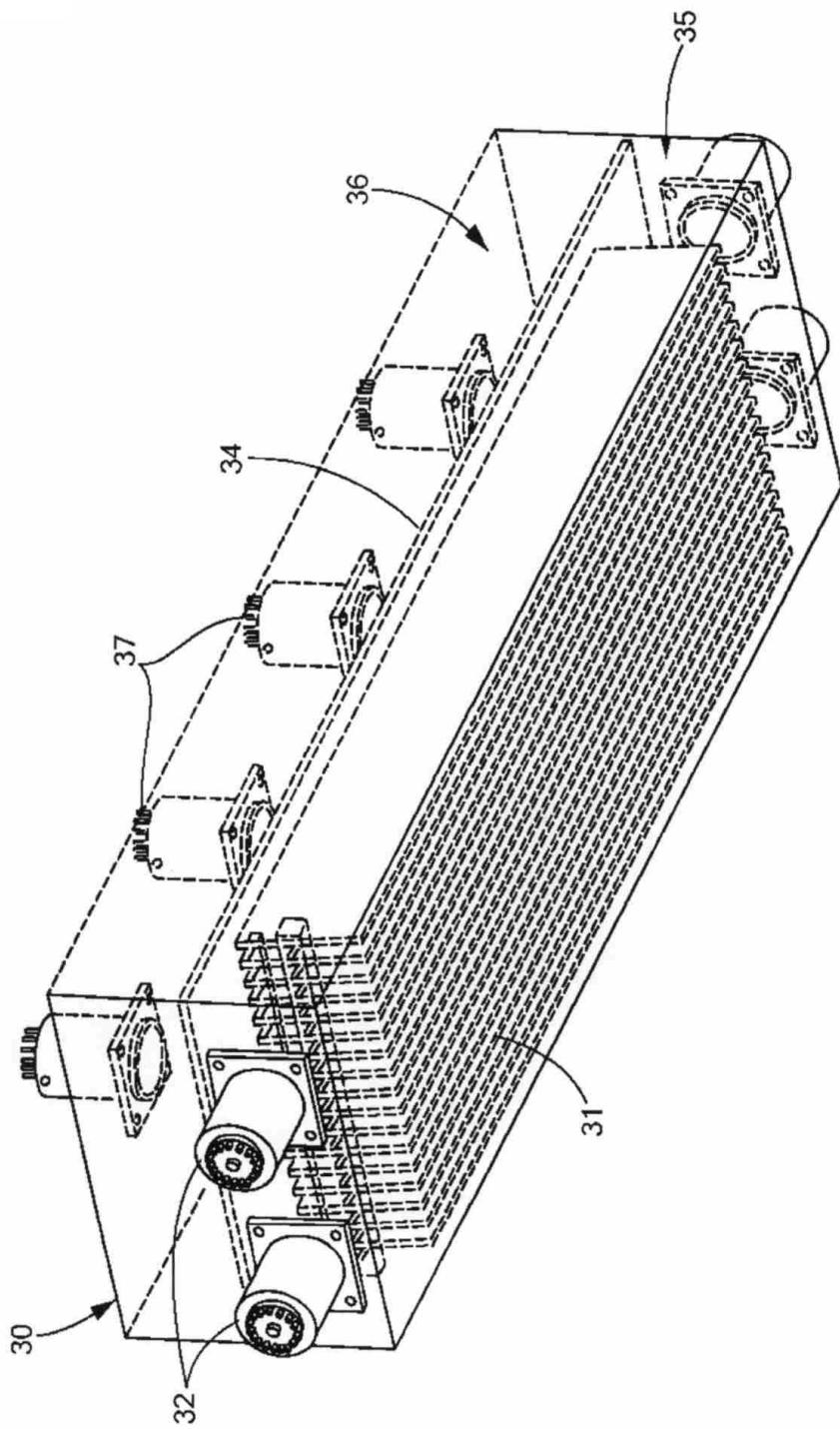
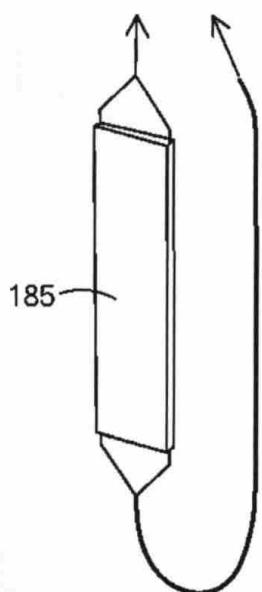
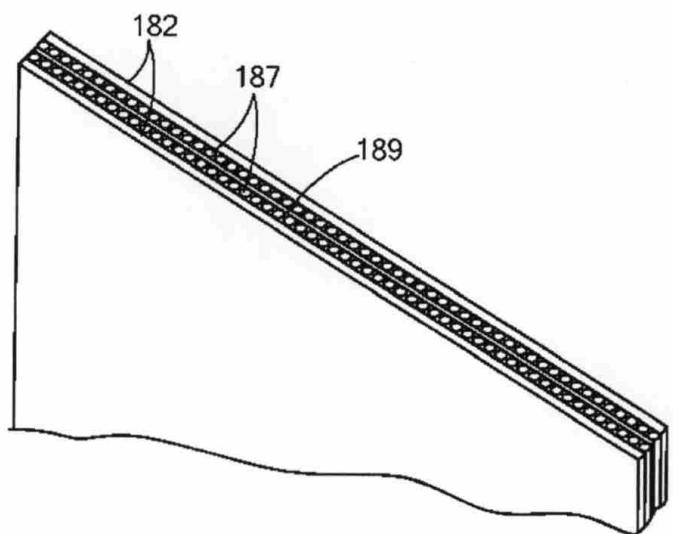


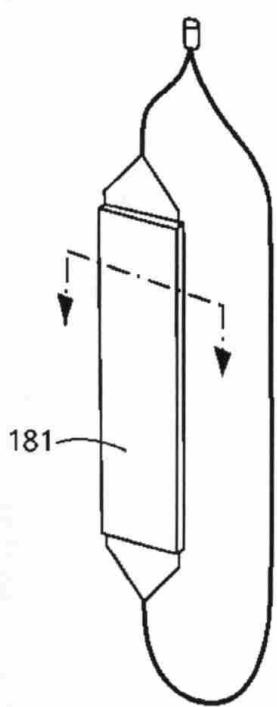
FIG. 17



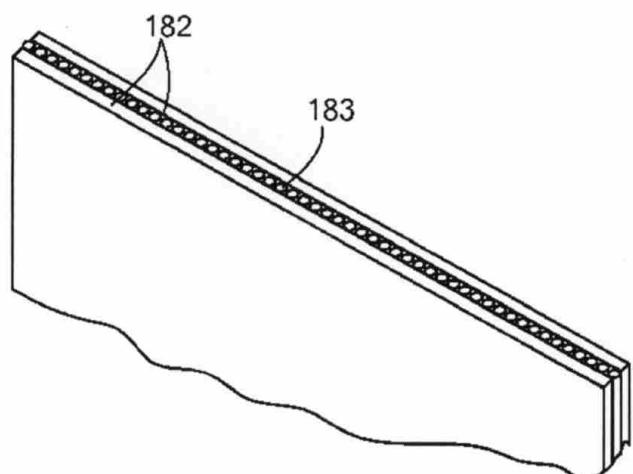
**FIG. 18A**



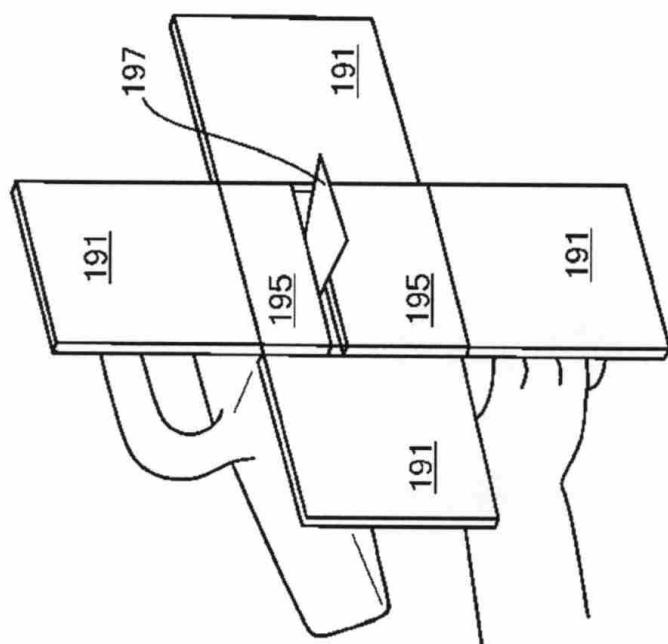
**FIG. 18B**



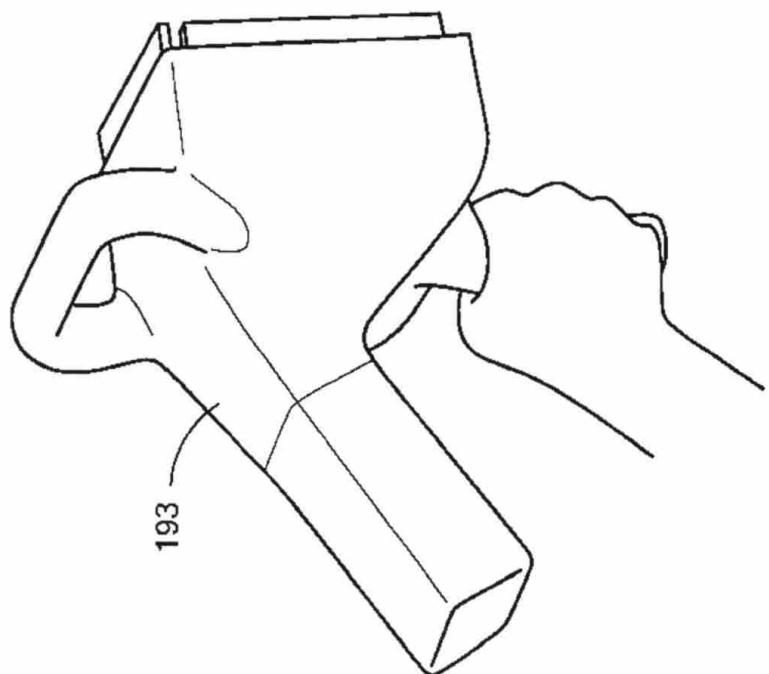
**FIG. 18C**



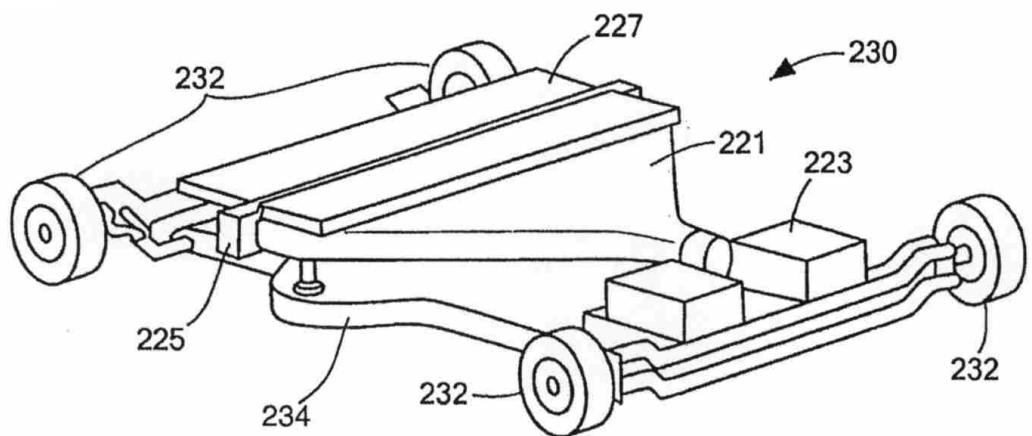
**FIG. 18D**



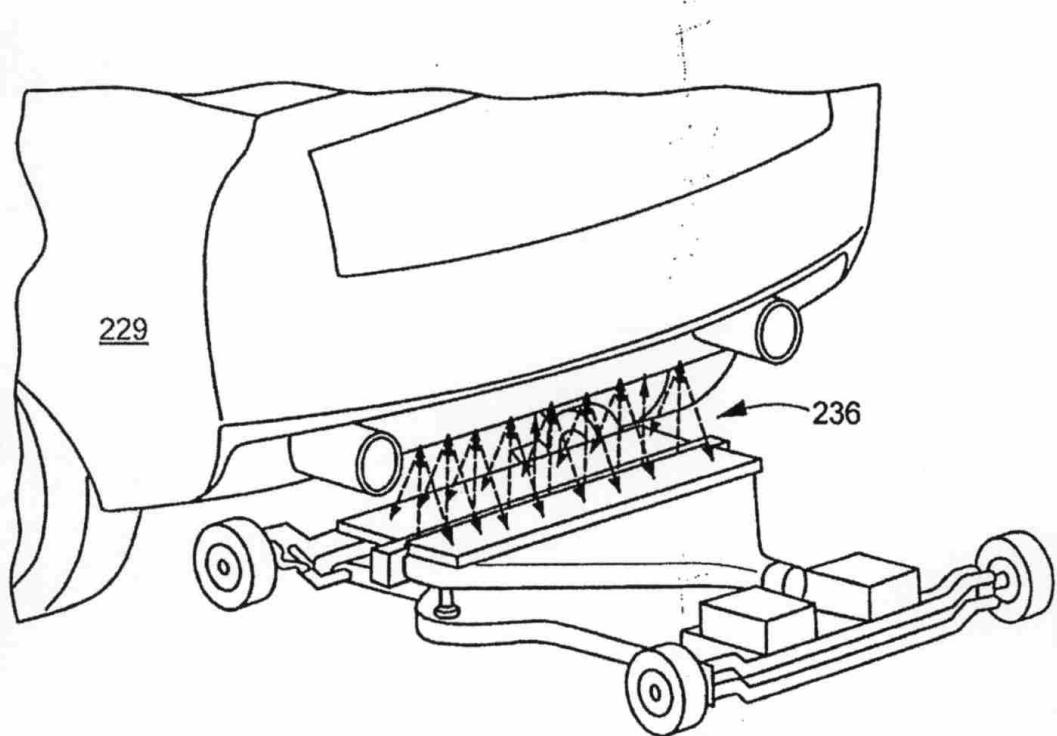
**FIG. 19B**



**FIG. 19A**



***FIG. 20A***



***FIG. 20B***

