

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 450 915**

51 Int. Cl.:

H01J 35/06 (2006.01)

H01J 35/04 (2006.01)

H01J 35/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2004 E 10184912 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2013 EP 2287882**

54 Título: **Escáner de rayos X**

30 Prioridad:

25.04.2003 GB 0309383

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

25.03.2014

73 Titular/es:

**CXR LIMITED (100.0%)
Seven Gables House 30 Letchmore Road
Radlett Hertfordshire WD7 8HT, GB**

72 Inventor/es:

**MORTON, EDWARD JAMES;
LUGGAR, RUSSELL DAVID y
DE ANTONIS, PAUL**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 450 915 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

Escáner de rayos X

La presente invención se refiere a sistemas de formación de imágenes de rayos X.

5 Los tubos de rayos X incluyen una fuente de electrones, que puede ser un emisor termoiónico o una fuente de cátodo frío, alguna forma de dispositivo de extracción, tal como una rejilla, que puede conmutarse entre un potencial de extracción y un potencial de bloqueo para controlar la extracción de electrones del emisor y un ánodo que produce los rayos X cuando los electrones impactan contra el mismo. Ejemplos de tales sistemas se describen en los documentos US 4.274.005 y US 5.259.014. Además, la patente norteamericana publicada con número US 2002/0094064 divulga una estructura de cátodo formada a modo de un conjunto continuo o una matriz continua de materiales de emisión de campo, que pueden dirigirse individualmente y que mediante el uso de direccionamiento individual, grupal, o de matriz de regiones seleccionadas del cátodo, se puede generar un haz de electrones emitidos rasterizado y se puede dirigir para que golpee distintamente en un punto de incidencia en el blanco y para que los rayos X emitidos desde el blanco estacionario se correspondan por consiguiente en posición y frecuencia con los cátodos conmutados eléctricamente y generen rayos X emitidos que puedan discriminarse suficientemente alrededor del objeto del que se va a formar la imagen.

Con el aumento del uso de escáneres de rayos X, por ejemplo para propósitos médicos y de seguridad, aumenta el deseo de producir tubos de rayos X que sean relativamente baratos y que tengan una vida útil larga.

La presente invención proporciona un escáner de rayos X que comprende una fuente de rayos X que comprende un conjunto lineal de puntos fuente y medios de detección de rayos X que comprenden un conjunto lineal de detectores y medios de control, en el que los conjuntos lineales están dispuestos de modo sustancialmente perpendicular entre sí y los medios de control están dispuestos para controlar bien los puntos fuente o bien los detectores para que funcionen en una pluralidad de agrupamientos sucesivos, comprendiendo los agrupamientos sucesivos grupos de distinto número de puntos fuente o detectores y en cada agrupamiento los puntos fuente o los detectores se dividen en grupos con un número igual de puntos fuente o detectores contiguos y los puntos fuente en grupos alternos se activan simultáneamente o los detectores en grupos alternos se leen simultáneamente. Los medios de control pueden estar dispuestos para analizar lecturas de los detectores utilizando una transformada matemática para producir una imagen tridimensional de un objeto. Preferiblemente los medios de control están dispuestos para operar los puntos fuente en dicha pluralidad de agrupamientos y se toman lecturas simultáneamente de cada uno de los detectores para cada uno de dichos agrupamientos. Alternativamente los medios de control pueden estar dispuestos para operar los detectores en dicha pluralidad de agrupamientos y para cada agrupamiento, activar cada uno de los puntos fuente por turnos para producir lecturas respectivas.

Por consiguiente la presente invención puede proporcionar además una fuente de electrones para un escáner de rayos X que comprende medios de emisión de electrones que definen una pluralidad de regiones fuente de electrones, una rejilla de extracción que define una pluralidad de regiones de rejilla asociada cada una con al menos una de las respectivas regiones fuente y medios de control dispuestos para controlar el potencial eléctrico relativo entre cada una de las regiones de rejilla y la región fuente respectiva de modo que la posición de la que se extraen los electrones de los medios de emisión pueda desplazarse entre dichas regiones fuente.

La rejilla de extracción puede comprender una pluralidad de elementos de rejilla separados a lo largo de los medios de emisión. En este caso cada región de rejilla puede comprender uno o más de los elementos de rejilla.

40 Los medios de emisión pueden comprender un miembro emisor alargado y los elementos de rejilla pueden estar separados a lo largo del miembro emisor de tal modo que cada una de las regiones fuente está en una posición respectiva a lo largo del miembro emisor.

Preferiblemente los medios de control están dispuestos para conectar cada uno de los elementos de rejilla bien a un potencial eléctrico de extracción que es positivo con respecto a los medios de emisión o bien a un potencial eléctrico de inhibición que es negativo con respecto a los medios de emisión. Más preferiblemente los medios de control se disponen para conectar los elementos de rejilla al potencial de extracción sucesivamente en parejas contiguas de modo que se dirija un haz de electrones entre cada pareja de elementos de rejilla. Todavía más preferiblemente cada uno de los elementos de rejilla puede conectarse al mismo potencial eléctrico que cualquiera de los elementos de rejilla que son contiguos al mismo, de modo que puede ser parte de dos parejas diferentes de dichas parejas.

Los medios de control pueden estar dispuestos, mientras cada una de dichas parejas contiguas está conectada al potencial de extracción, para conectar los elementos de rejilla a cualquier lado de la pareja, o incluso todos los elementos de rejilla que no están en la pareja, al potencial de inhibición.

Los elementos de rejilla comprenden preferiblemente miembros alargados paralelos y el miembro emisor, cuando es igualmente un miembro alargado, se extiende preferiblemente de modo sustancialmente perpendicular a los elementos de rejilla.

5 Los elementos de rejilla pueden comprender alambres y más preferiblemente son planos y se extienden en un plano sustancialmente perpendicular al miembro emisor de modo que protejan el miembro emisor de un bombardeo de iones de retroceso procedentes del ánodo. Los elementos de rejilla están separados preferiblemente de los medios de emisión por una distancia aproximadamente igual a la distancia entre elementos de rejilla contiguos.

10 La fuente de electrones comprende además preferiblemente una pluralidad de elementos de concentración, que pueden ser igualmente alargados y que son preferiblemente paralelos a los elementos de rejilla, dispuestos para concentrar los haces de electrones una vez que han sobrepasado los elementos de rejilla. Más preferiblemente los elementos de concentración se alinean con los elementos de rejilla de tal modo que los electrones que pasan entre cualquier pareja de elementos de rejilla pasarán entre una pareja correspondiente de elementos de concentración.

15 Preferiblemente los elementos de concentración están dispuestos para conectarse a un potencial eléctrico que es negativo con respecto al emisor. Preferiblemente los elementos de concentración están dispuestos para ser conectados a un potencial eléctrico que es positivo con respecto a los elementos de rejilla.

Preferiblemente, los medios de control están dispuestos para controlar el potencial aplicado a los elementos de concentración controlando así la concentración de los haces de electrones.

20 Los elementos de concentración pueden comprender alambres y pueden ser planos, extendiéndose en un plano sustancialmente perpendicular al miembro emisor de modo que protejan el miembro emisor de un bombardeo de iones de retroceso procedentes de un ánodo.

25 Los elementos de rejilla están separados preferiblemente del emisor de tal modo que si un grupo de uno o más elementos de rejilla contiguos es conmutado al potencial de extracción, se extraerán electrones de una longitud del miembro emisor que es más larga que la anchura de dicho grupo de elementos de rejilla. Por ejemplo los elementos de rejilla pueden estar separados del miembro emisor por una distancia que es al menos sustancialmente igual a la distancia entre elementos de rejilla contiguos, que puede ser del orden de 5 mm.

Preferiblemente los elementos de rejilla están dispuestos para concentrar al menos parcialmente los electrones extraídos en un haz.

30 Los medios de detección comprenden una pluralidad de detectores. Más preferiblemente los medios de control están dispuestos para controlar los potenciales eléctricos de las regiones fuente o de las regiones de rejilla de modo que se extraigan electrones de una pluralidad de agrupamientos sucesivos de dichas regiones fuente produciendo cada agrupamiento una iluminación que tiene un patrón de onda cuadrada de una longitud de onda diferente y para registrar una lectura de los medios de detección para cada una de las iluminaciones. Todavía más preferiblemente los medios de control están dispuestos además para aplicar una transformada matemática a las lecturas registradas para reconstruir características de un objeto situado entre el tubo de rayos X y el detector.

40 Los puntos fuente están dispuestos en un conjunto lineal. Los medios de detección comprenden un conjunto lineal de detectores que se extienden en una dirección sustancialmente perpendicular al conjunto lineal de puntos fuente. Más preferiblemente los medios de control están dispuestos para registrar una lectura de cada uno de los detectores para cada iluminación. Esto puede permitir que los medios de control utilicen las lecturas de cada uno de los detectores para reconstruir características de una capa respectiva del objeto. Preferiblemente los medios de control están dispuestos para utilizar las lecturas para construir una reconstrucción tridimensional del objeto.

Ahora se describirán modos de realización preferidos de la presente invención a modo de ejemplo tan solo con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

la **figura 1** muestra una fuente de electrones;

45 la **figura 2** muestra una unidad de emisor de rayos X que incluye la fuente de electrones de la figura 1;

la **figura 3** es una sección transversal a través de la unidad de la figura 2 que muestra la trayectoria de los electrones en la unidad;

la **figura 4** es una sección longitudinal a través de la unidad de la figura 2 que muestra la trayectoria de los electrones en la unidad;

50 la **figura 5** es un diagrama de un sistema de imagen de rayos X que incluye un número de unidades de emisor;

la **figura 6** es un diagrama de un tubo de rayos X de acuerdo con un segundo ejemplo;

la **figura 7** es un diagrama de un tubo de rayos X de acuerdo con un tercer ejemplo;

la **figura 8** es una vista en perspectiva de un tubo de rayos X de acuerdo con un cuarto ejemplo;

la **figura 9** es una sección a través del tubo de rayos X de la figura 8;

5 la **figura 10** es una sección a través de un tubo de rayos X de acuerdo con un quinto ejemplo;

la **figura 11** muestra un elemento emisor que forma parte del tubo de rayos X de la figura 10;

la **figura 12** es una sección a través de un tubo de rayos X de acuerdo con un sexto ejemplo;

la **figura 12a** es una sección longitudinal a través de un tubo de rayos X de acuerdo con un séptimo ejemplo;

la **figura 12b** es una sección transversal a través del tubo de rayos X de la figura 12a;

10 la **figura 12c** es una vista en perspectiva de parte del tubo de rayos X de la figura 12a;

la **figura 13** es una representación esquemática de un sistema de escáner de rayos X de acuerdo con un octavo ejemplo;

las **figuras 14a, 14b y 14c** muestran el funcionamiento del sistema de la figura 13;

15 la **figura 15** es una representación esquemática de un sistema de escáner de rayos X de acuerdo con un modo de realización de la invención;

las **figuras 16a y 16b** muestran una capa de emisor y una capa calefactora de un emisor de acuerdo con un ejemplo;

la **figura 17** muestra un elemento emisor que incluye la capa de emisor y la capa calefactora de las figuras 16a y 16b; y

20 la **figura 18** muestra una disposición alternativa del elemento emisor mostrado en la figura 17.

En referencia a la figura 1, una fuente de electrones 10 comprende un supresor metálico conductor 12 que tiene dos lados 14, 16 y un elemento emisor 18 que se extiende a lo largo entre los lados 14, 16 del supresor. Un número de elementos de rejilla en forma de alambres de rejilla 20 están soportados por encima del supresor 12 y se extienden a lo largo del hueco entre sus dos lados 14, 16 perpendicularmente al elemento emisor 18, aunque en un plano que es paralelo al mismo. En este ejemplo los alambres de rejilla tienen un diámetro de 0,5 mm y están separados por una distancia de 5 mm. Además están separados aproximadamente 5 mm del elemento emisor 18. Un número de elementos de concentración en forma de alambres de concentración 22 están soportados en otro plano en el lado opuesto de los alambres de rejilla con respecto al elemento emisor. Los alambres de concentración 22 son paralelos a los alambres de rejilla 20 y están separados entre sí con la misma separación, 5 mm, que los alambres de rejilla, estando alineado cada alambre de concentración 22 con uno de los respectivos alambres de rejilla 20. Los alambres de concentración 22 están separados aproximadamente 8 mm de los alambres de rejilla 20.

Como se muestra en la figura 2, la fuente 10 está encerrada en un alojamiento 24 de una unidad de emisor 25 con el supresor 12 estando soportado en la base 24a del alojamiento 24. Los alambres de concentración 22 están soportados sobre dos carriles de soporte 26a, 26b que se extienden paralelamente al elemento emisor 18 y están separados del supresor 12, estando montados los carriles de soporte sobre la base 24a del alojamiento 24. Los carriles de soporte 26a, 26b son conductores eléctricamente de modo que todos los alambres de concentración 22 están conectados eléctricamente entre sí. Uno de los carriles de soporte 26a está conectado a un conector 28 que se proyecta a través de la base 24a del alojamiento 24 para proporcionar una conexión eléctrica para los alambres de concentración 22. Cada uno de los alambres de rejilla 20 se extiende hacia abajo de uno de los lados 16 del supresor 12 y está conectado a un conector eléctrico 30 respectivo que proporciona conexiones eléctricas separadas para cada uno de los alambres de rejilla 20.

Un ánodo 32 está soportado entre las paredes laterales 24b, 24c del alojamiento 24. El ánodo 32 está formado como una varilla, típicamente de cobre con un recubrimiento de tungsteno o plata y se extiende paralelamente al elemento emisor 18. Los alambres de rejilla y concentración 20, 22 se extienden por lo tanto entre el elemento emisor 18 y el ánodo 32. Un conector eléctrico 34 al ánodo 32 se extiende a través de la pared lateral 24b del alojamiento 24.

El elemento emisor 18 está soportado en los extremos 12a, 12b del supresor 12, aunque aislado eléctricamente del mismo y se calienta por medio de una corriente eléctrica suministrada al mismo por medio de conectores adicionales 36, 38 en el alojamiento 24. En este modo de realización el emisor 18 está formado a partir de un núcleo de alambre de tungsteno que actúa como el calefactor, un recubrimiento de níquel sobre el núcleo y una
 5 capa de un óxido de tierras raras que tiene una función de trabajo baja sobre el níquel. Sin embargo se pueden utilizar igualmente otros tipos de emisor, tales como un simple alambre de tungsteno.

En referencia a la figura 3, con el fin de producir un haz de electrones 40, el elemento emisor 18 está conectado eléctricamente a tierra y calentado de modo que emita electrones. El supresor se mantiene a un voltaje constante de 3-5 V típicamente de modo que se impida que campos eléctricos extraños aceleren los electrones en
 10 direcciones indeseadas. Una pareja de alambres de rejilla contiguos 20a, 20b está conectada a un potencial que es más positivo entre 1 y 4 kV que emisor. Los otros alambres de rejilla están conectados a un potencial de -100 V. Todos los alambres de concentración 22 se mantienen a un potencial positivo que es entre 1 y 4 kV más positivo que los alambres de rejilla.

Todos los alambres de rejilla 20, además de aquellos 20a, 20b en la pareja de extracción, inhiben, e incluso impiden sustancialmente, la emisión de electrones hacia el ánodo a lo largo de la mayoría de la longitud del elemento emisor 18. Esto es debido a que están a un potencial que es negativo con respecto al emisor 18 y por lo tanto la dirección del campo eléctrico entre los alambres de rejilla 20 y el emisor 18 tiende a forzar los electrones emitidos de vuelta hacia el emisor 18. Sin embargo la pareja de extracción 20a, 20b, que está a un potencial positivo con respecto al emisor 18, atrae los electrones emitidos alejándolos del emisor 18, produciendo así un haz
 15 40 de electrones que pasa entre los alambres de extracción 20a, 20b y se dirige hacia el ánodo 32. Debido a la separación de los alambres de rejilla 20 del elemento emisor 18, electrones emitidos por una longitud x del elemento emisor 18, que es considerablemente superior a la separación entre los dos alambres de rejilla 20a, 20b, se extraen conjuntamente en el haz que pasa entre la pareja de alambres 20a, 20b. Los alambres de rejilla 20 sirven por lo tanto no solo para extraer los electrones sino también para concentrarlos conjuntamente en el haz 40.
 20 La longitud del emisor 18 sobre la que se extraerán los electrones depende de la separación de los alambres de rejilla 20 y de la diferencia de potencial entre la pareja de extracción 20a, 20b y el resto de los alambres de rejilla 20.
 25

Tras pasar entre los dos alambres de rejilla de extracción 20a, 20b, el haz 40 es atraído hacia la pareja correspondiente de alambres de concentración 22a, 22b y pasa entre ellos. El haz converge hacia una línea focal f_1 que se encuentra entre los alambres de concentración 22 y el ánodo 32 y a continuación diverge de nuevo hacia el ánodo 32. El potencial positivo de los alambres de concentración 22 puede variarse para variar la posición de la línea focal f_1 , variando así la anchura del haz cuando este golpea el ánodo 32.
 30

En referencia a la figura 4, vista en la dirección longitudinal del emisor 18 y el ánodo 32, el haz de electrones 40 converge de nuevo hacia una línea focal f_2 entre los alambres de concentración 22 y el ánodo 32, siendo la posición de la línea focal f_2 dependiente principalmente de la intensidad del campo producido entre el emisor 18 y el ánodo 32.
 35

En referencia de nuevo a la figura 2, con el fin de producir un haz móvil de electrones se pueden conectar parejas sucesivas de alambres de rejilla contiguos 20 al potencial de extracción en una sucesión rápida variando así la posición en el ánodo 32 en la que se producirán los rayos X.

El hecho de que la longitud x del emisor 18 de la que se extraen los electrones sea significativamente mayor que la separación entre los alambres de rejilla 20 presenta un número de ventajas. Para un espaciado mínimo dado, que es la distancia entre dos posiciones contiguas del haz de electrones, la longitud del emisor 18 de la que se pueden extraer electrones para cada haz es significativamente superior que la separación mínima del haz. Esto es debido a que cada parte del emisor 18 puede emitir electrones que pueden extraerse en haces en una pluralidad de
 40 posiciones diferentes. Esto permite que el emisor 18 funcione a una temperatura relativamente baja en comparación con una fuente convencional para proporcionar una corriente de haz equivalente. Alternativamente, si se utiliza la misma temperatura que en una fuente convencional, se puede producir una corriente de haz que es mucho mayor, en un factor de hasta siete. Además las variaciones en la brillantez de la fuente a lo largo de la longitud del emisor 18 se amortiguan, de modo que la variación resultante en la intensidad de haces extraídos de
 45 diferentes partes del emisor 18 se reduce enormemente.
 50

En referencia a la figura 5, un escáner de rayos X 50 está dispuesto en una geometría convencional y comprende un conjunto de unidades de emisor 25 dispuestas en un arco alrededor de un eje central Z del escáner y orientadas de modo que emitan rayos X hacia el eje Z del escáner. Un anillo de sensores 52 se sitúa por dentro de los emisores, dirigido hacia dentro hacia el eje Z del escáner. Los sensores 52 y las unidades de emisor 25 están
 55 desplazadas entre sí a lo largo del eje Z modo que los rayos X emitidos por las unidades de emisor pasan por los sensores lo más cerca de los mismos, a través del eje Z y son detectados por los sensores más alejados de los

mismos. El escáner está controlado por un sistema de control que opera un número de funciones representadas por bloques funcionales en la figura 5. Un bloque 54 del sistema de control controla y recibe datos de, una unidad de visualización de imágenes 56, un bloque de control 58 del tubo de rayos X y un bloque de reconstrucción de imágenes 60. El bloque de control 58 del tubo de rayos X controla un bloque de control de concentración 62 que controla los potenciales de los alambres de concentración 22 en cada una de las unidades de emisor 25, un bloque de control de rejilla 64 que controla el potencial de los alambres de rejilla individuales 20 en cada unidad de emisor 25 y una fuente de alto voltaje 68 que proporciona la energía al ánodo 32 de cada uno de los bloques de emisor y la energía a los elementos de emisor 18. El bloque de reconstrucción de imágenes 60 controla y recibe datos de un bloque de control de sensores 70 que a su vez controla y recibe datos de los sensores 52.

En funcionamiento, un objeto a escanearse pasa a lo largo del eje Z y el haz de rayos X se barre a lo largo de cada unidad de emisor por turnos de modo que gire alrededor del objeto y los rayos X que pasan a través del objeto procedentes de cada posición de la fuente de rayos X en cada unidad se detectan por los sensores 52. Se registran datos de los sensores 52 para cada punto fuente de rayos X en el barrido como un conjunto de datos respectivo. Los conjuntos de datos de cada rotación de la posición de la fuente de rayos X pueden analizarse para producir una imagen de un plano a través del objeto. El haz se gira repetidamente a medida que el objeto pasa a lo largo del eje Z tal como para construir una imagen tomográfica tridimensional del objeto completo.

En referencia a la figura 6, en un segundo ejemplo de la invención los elementos de rejilla 120 y los elementos de concentración 122 están formados como tiras planas. Los elementos 120, 122 se sitúan como en el primer ejemplo, aunque el plano de las tiras se encuentra perpendicular al elemento emisor 118 y al ánodo 132 y paralelo a la dirección en la que el elemento emisor 118 está dispuesto para emitir electrones. Una ventaja de esta disposición es que los iones 170 que se producen por el haz de electrones 140 que golpea el ánodo 132 y se emiten de nuevo hacia el emisor se bloquean en su mayoría por los elementos 120, 122 antes de que alcancen el emisor. Un pequeño número de iones 172 que regresan directamente a lo largo de la trayectoria del haz de electrones 140 alcanzarán el emisor, pero el daño total al emisor debido a un bombardeo de iones de retroceso se reduce sustancialmente. En algunos casos ello puede ser suficiente para que solo los elementos de rejilla 122 o solo los elementos de concentración 122 sean planos.

En el ejemplo de la figura 6 la anchura de las tiras 120, 122 es sustancialmente igual a la distancia que las separa, esto es aproximadamente 5 mm. Sin embargo se apreciará que podrían ser sustancialmente más anchas.

En referencia a la figura 7, en un tercer ejemplo de la invención los elementos de rejilla 220 y los elementos de concentración 222 están separados más estrechamente que en el primer ejemplo. Esto permite que se puedan conmutar grupos de más de dos de los elementos de rejilla 220a, 220b, 220c, en el ejemplo mostrado tres, al potencial de extracción para formar una ventana de extracción en la rejilla de extracción. En este caso la anchura de la ventana de extracción es aproximadamente igual a la anchura del grupo de tres elementos 220. La separación de los elementos de rejilla 220 del emisor 218 es aproximadamente igual a la anchura de la ventana de extracción. Los elementos de concentración están conectados además a un potencial positivo por medio de conmutadores individuales de modo que cada uno de ellos pueda conectarse bien al potencial positivo o bien a un potencial negativo. Los dos elementos de concentración 222a, 222b más adecuados para concentrar el haz de electrones están conectados al potencial de concentración positivo. Los elementos de concentración 222 que quedan están conectados a un potencial negativo. En este caso como hay un elemento de concentración 222c entre los dos necesarios para concentrar, ese elemento de concentración está conectado además al potencial de concentración positivo.

En referencia a las figuras 8 y 9, una fuente de electrones de acuerdo con un cuarto ejemplo de la invención comprende un número de elementos emisores 318, solo uno de los cuales se muestra, cada uno formado de una tira metálica de tungsteno que se calienta haciendo pasar una corriente eléctrica a través de la misma. Una región 318a en el centro de la tira está toriada con el fin de reducir la función de trabajo para la emisión térmica de un electrón desde su superficie. Un supresor 312 comprende un bloque metálico que tiene un canal 313 que se extiende a lo largo de su cara inferior 314 en la que se sitúan los elementos emisores 318. Una hilera de aberturas 315 se dispone a lo largo del supresor 312 cada una alineada con la región toriada 318a de uno de los respectivos elementos emisores 318. Una serie de elementos de rejilla 320, solo uno de los cuales se muestra, se extienden sobre las aberturas 315 en el supresor 312, esto es, en el lado opuesto de las aberturas 315 hacia los elementos emisores 318. Cada uno de los elementos de rejilla 320 tiene además una abertura 321 a través de la que se alinea con las aberturas de supresor 315 respectivas de modo que los electrones que abandonan los elementos emisores 318 pueden viajar como un haz a través de las aberturas 315, 320. Los elementos emisores 318 están conectados a conectores eléctricos 319 y los elementos de rejilla 320 están conectados a conectores eléctricos 330, proyectándose los conectores 320, 330 a través de un miembro de base 324, no mostrado en la figura 8, para permitir que una corriente eléctrica se haga pasar a través de los elementos emisores 318 y que se controle el potencial de los elementos de rejilla 20.

5 En funcionamiento, debido a la diferencia de potencial entre los elementos emisores 318 y el electrodo supresor 312 circundante, que es típicamente inferior a 10 V, se extraen electrones de la región toriada 318a de los elementos emisores 318. Dependiendo del potencial del elemento de rejilla 320 respectivo situado por encima del supresor 312, que puede ser controlado individualmente, estos electrones bien se extraerán hacia el elemento de rejilla 320 o bien permanecerán contiguamente al punto de emisión.

En el caso de que el elemento de rejilla 320 se mantenga a un potencial positivo (por ejemplo, + 300 V) con respecto al elemento emisor 318, los electrones extraídos se acelerarán hacia el elemento de rejilla 318 y la mayoría pasará a través de una abertura 321 situada en la rejilla 320 por encima de la abertura 315 en el supresor 312. Esto forma un haz de electrones que pasa al interior del campo externo por encima de la rejilla 320.

10 Cuando el elemento de rejilla 320 se mantiene a un potencial negativo (por ejemplo, -300 V) con respecto al emisor 318 los electrones extraídos serán repelidos desde la rejilla y permanecerán contiguamente al punto de emisión. Esto corta a cero cualquier emisión de electrones externos de la fuente.

15 Esta fuente de electrones puede disponerse para formar parte de un sistema de escáner similar al mostrado en la figura 5, con el potencial de cada uno de los elementos de rejilla 330 controlándose individualmente. Esto proporciona un escáner que incluye una fuente de electrones controlada por rejilla donde la posición de la fuente efectiva de la fuente puede variarse en el espacio en control electrónico del mismo modo como se describe anteriormente con referencia a la figura 5.

20 En referencia a la figura 10, en el quinto ejemplo de la invención una fuente de electrones es similar a la de las figuras 8 y 9 con partes correspondientes indicadas mediante el mismo número de referencia aumentado en 100. En este ejemplo los elementos emisores 318 están sustituidos por un único filamento calentado 418 situado en una caja de supresor 412. Una serie de elementos de rejilla 420 se utilizan para determinar la posición del punto fuente efectivo para el haz de electrones externo 440. Debido a la diferencia de potencial que se experimenta lo largo de la longitud del alambre 318 debido a la corriente eléctrica que pasa a través del mismo, la eficiencia de la extracción de electrones variará con la posición.

25 Para reducir estas variaciones, es posible utilizar un emisor de óxido secundario 500, como se muestra en la figura 11. Este emisor 500 comprende un material emisor 502 de función de trabajo baja tal como un óxido de bario-estroncio recubierto sobre un tubo 504 eléctricamente conductor, que es preferiblemente de níquel. Un alambre de tungsteno 506 se recubre con partículas de vidrio o cerámica 508 y a continuación se ensarta a través del tubo 504. Cuando se utiliza en la fuente de la figura 10, el tubo de níquel 504 se mantiene a un potencial adecuado con respecto al supresor 412 y se hace pasar una corriente a través del alambre de tungsteno 506. A medida que el alambre 506 se calienta, la energía térmica radiada calienta el tubo de níquel 504. Esto a su vez calienta el material emisor 502 que comienza a emitir electrones. En este caso, el potencial del emisor se fija con respecto al electrodo supresor 412 de modo que se asegure una eficiencia de extracción uniforme a lo largo de la longitud del emisor 500. Adicionalmente, debido a la buena conductividad térmica del níquel, cualquier variación en temperatura del alambre de tungsteno 506, por ejemplo provocada por variaciones de grosor durante la fabricación o por procesos de envejecimiento, se promedia dando como resultado extracción de electrones más uniforme para todas las regiones del emisor 500.

40 En referencia a la figura 12, en un sexto ejemplo un emisor de electrones controlado por rejilla comprende un pequeño bloque de níquel 600, típicamente de $10 \times 3 \times 3$ mm, recubierto sobre un lado 601 (por ejemplo, 10×3 mm) por un material de óxido 602 de función de trabajo baja tal como un óxido de bario-estroncio. El bloque de níquel 600 se mantiene a un potencial de entre +60 V y +300 V, por ejemplo, con respecto al electrodo supresor 604 circundante montándolo en un paso eléctrico 606. Uno o más alambres de tungsteno 608 se alimentan a través de orificios aislados 610 en el bloque de níquel 600. Típicamente, esto se consigue recubriendo el alambre de tungsteno con partículas de vidrio o cerámica 612 antes de hacerlo pasar a través del orificio 610 en el bloque de níquel 600. Una malla de alambre 614 se conecta eléctricamente al supresor 604 y se extiende sobre la superficie recubierta 601 del bloque de níquel 600 de modo que establezca el mismo potencial que el supresor 604 por encima de la superficie 601.

50 Cuando se hace pasar una corriente a través del alambre de tungsteno 608, el alambre se calienta e irradia energía térmica al bloque de níquel 600 circundante. El bloque de níquel 600 se calienta de modo que el recubrimiento de óxido 602 se calienta. A aproximadamente 900 °C, el recubrimiento de óxido 602 llega a ser un emisor de electrones efectivo.

55 Si utilizando el aislador de paso 606, el bloque de níquel 600 se mantiene a un potencial que es negativo (por ejemplo, -60 V) con respecto al electrodo supresor 604, se extraerán electrones del óxido 602 a través de la malla de alambre 614 que es integral con el supresor 604 en el vacío externo. Si el bloque de níquel 600 se mantiene a un potencial que es positivo (por ejemplo, + 60 V) con respecto al electrodo supresor 604, se cortará la emisión de electrones a través de la malla 614. Como los potenciales eléctricos del bloque de níquel 600 y el alambre de

tungsteno 608 están aislados entre sí por las partículas aislantes 612, el alambre de tungsteno 608 puede fijarse a un potencial próximo típicamente al del electrodo supresor 604.

Utilizando una pluralidad de bloques emisores 600 recubiertos de óxido con uno o más alambres de tungsteno 608 para calentar el conjunto de bloques 600, es posible crear una fuente de emisión de electrones múltiple en la que cada uno de los emisores pueda ser encendido y apagado independientemente. Esto permite que la fuente de electrones se utilice en un sistema de escáner, por ejemplo similar al de la figura 5.

En referencia a las figuras 12a, 12b y 12c, en un séptimo ejemplo una fuente de emisión múltiple comprende un conjunto de bloques de alúmina 600a, 600b, 600c aislantes que soportan un número de placas emisoras de níquel 603a cada una de las cuales está recubierta con óxido 602a. Los bloques comprenden un bloque superior rectangular largo 600a y un bloque inferior de forma correspondiente 600c y dos bloques intermedios 600b que están intercalados entre los bloques superior e inferior y tienen un hueco entre ellos formando un canal 605a que se extiende a lo largo del conjunto. Una bobina calefactora de tungsteno 608a se extiende a lo largo del canal 605a a lo largo de toda la longitud de los bloques 600a, 600b, 600c. Las placas de níquel 603a son rectangulares y se extienden a través de la superficie superior 601a del bloque superior 600a a intervalos a lo largo de su longitud. Las placas de níquel 603a están separadas entre sí de modo que estén aisladas eléctricamente unas de otras.

Un supresor 604a se extiende a lo largo de los lados de los bloques 600a, 600b, 600c y soporta una malla de alambre 614a sobre las placas emisoras de níquel 603a. El supresor soporta asimismo un número de alambres de concentración 616a que se sitúan justo por encima de la malla 614a y se extienden a través de la fuente paralelamente a las placas de níquel 603a, estando situado cada alambre entre dos placas de níquel 603a contiguas. Los alambres de concentración 616a y la malla 614a están conectados eléctricamente al supresor 604a y por lo tanto se encuentran al mismo potencial eléctrico.

Al igual que con el ejemplo de la figura 12, la bobina calefactora 608a calienta las placas emisoras 603a de tal modo que la capa de óxido pueda emitir electrones. Las placas 603a se mantienen a un potencial positivo, por ejemplo de + 60 V, con respecto al supresor 604a, pero están conectadas individualmente a un potencial negativo, por ejemplo de -60 V, con respecto al supresor 604a para provocar que ellas emitan. Como se puede ver de la mejor manera en la figura 12a, cuando una cualquiera de las placas 603a está emitiendo electrones, estos se concentran en un haz 607a mediante los dos alambres de concentración 616a a cada lado de las placas 603a. Esto es debido a que las líneas de campo eléctrico entre las placas emisoras 603a y el ánodo se estrangulan ligeramente hacia dentro cuando pasan entre los alambres de concentración 616a.

En referencia a la figura 13, en un octavo ejemplo, se dispone una fuente de rayos X 700 para producir rayos X de cada uno de una serie de puntos fuente de rayos X 702. Estos pueden estar constituidos por uno o más ánodos y un número de fuentes de electrones de acuerdo con cualquiera de los ejemplos descritos anteriormente. Los puntos fuente de rayos X 702 pueden encenderse y apagarse individualmente. Se proporciona un único detector de rayos X 704 y el objeto 706 del que se va a formar la imagen se sitúa entre la fuente de rayos X y el detector. Una imagen del objeto 706 se construye después utilizando transformadas de Hadamard como se describe a continuación.

En referencia a las figuras 14a a 14c, los puntos fuente 702 se dividen en grupos de igual número de puntos contiguos 702. Por ejemplo en el agrupamiento mostrado en la figura 14a, cada grupo consiste en un único punto fuente 702. Los puntos fuente 702 en grupos alternos se activan después simultáneamente, de modo que en el agrupamiento de la figura 14a se activan puntos fuente 702a alternos, mientras que cada punto fuente 702b entre los puntos fuente 702a activados no está activado. Esto produce un patrón de iluminación de onda cuadrada con una longitud de onda igual a la anchura de dos puntos fuente 702a, 702b. La cantidad de iluminación de rayos X medida por el detector 704 se registra para este patrón de iluminación. Después se utiliza otro patrón de iluminación como se muestra en la figura 14b donde cada grupo de puntos fuente 702 comprende dos puntos fuente contiguos y grupos alternos 702c se activan de nuevo, con los grupos intermedios 702d no activados. Esto produce un patrón de iluminación de onda cuadrada como se muestra en la figura 14b con una longitud de onda igual a la anchura de cuatro de los puntos fuente 702. La cantidad de iluminación de rayos X en el detector 704 se registra de nuevo. Este procedimiento se repite después como se muestra en la figura 14c con grupos de cuatro puntos fuente 702 y además con un gran número de otros tamaños de grupo. Cuando todos los tamaños del grupo se han utilizado y se han tomado las medidas respectivas asociadas con las diferentes longitudes de onda de iluminación de onda cuadrada, los resultados pueden utilizarse para reconstruir un perfil de imagen completo de la capa bidimensional del objeto 706 que se encuentra entre la línea de puntos fuente 702 y el detector 704 utilizando transformadas de Hadamard. Una ventaja de esta disposición es que, en lugar de que los puntos fuente se activen individualmente, en cualquier momento la mitad de los puntos fuente 702 están activados y la otra mitad no lo está. Por lo tanto, el cociente de señal a ruido de este procedimiento es significativamente mayor que en los procedimientos en los que los puntos fuente 702 se activan individualmente para barrer a lo largo del conjunto de puntos fuente.

Un análisis de transformadas de Hadamard se puede realizar asimismo utilizando una única fuente en un lado del objeto y un conjunto lineal de detectores en el otro lado del objeto. En este caso, en lugar de activar las fuentes en grupos de diferentes tamaños, la única fuente se activa continuamente y se toman lecturas de los detectores en grupos de diferentes tamaños, que corresponden a los grupos de puntos fuente 702 descritos anteriormente. El análisis y la reconstrucción de la imagen del objeto son similares a lo utilizado para la disposición de la figura 13.

En referencia a la figura 15, en una modificación de esta disposición el detector único de la figura 13 está sustituido por un conjunto lineal de detectores 804 que se extienden en una dirección perpendicular al conjunto lineal de puntos fuente 802, de acuerdo con un modo de realización de la invención. Estos conjuntos de puntos fuente 802 y detectores 804 definen un volumen tridimensional 805 limitado por las líneas 807 que unen los puntos fuente 802a, 802b en los extremos del conjunto de puntos fuente con los detectores 804a, 804b en los extremos del conjunto de detectores. Este sistema funciona exactamente como el de la figura 13, salvo porque para cada agrupamiento de onda cuadrada de puntos fuente iluminados, se registra la iluminación de rayos X en cada uno de los detectores 804. Para cada detector se puede reconstruir una imagen bidimensional de una capa del objeto 806 en el volumen 805 y las capas pueden combinarse a continuación para formar una imagen tridimensional por completo del objeto 806.

En referencia a las figuras 16a y 16b, 17 y 18, en un ejemplo adicional el elemento emisor 916 comprende una capa emisora de AIN 917 con emisores 918 de función de trabajo baja formados en ella y una capa calefactora 919 constituida por sustrato de nitruro de aluminio (AIN) 920 y un elemento calefactor de platino (Pt) 922, conectados mediante placas de interconexión 924. Unos resortes conductores 926 conectan después el sustrato de AIN 920 a una placa de circuito 928. El nitruro de aluminio (AIN) es un material cerámico, resistente, de conductividad térmica alta y el coeficiente de expansión térmica del AIN se corresponde estrechamente con el del platino (Pt). Estas propiedades conducen al diseño de un calefactor integrado-emisor de electrones 916 como se muestra en las figuras 16a y 16b para uso en aplicaciones de tubo de rayos X.

Típicamente el metal Pt se conforma en una pista de 1-3 mm de ancho con un grosor de 10-100 μm para ofrecer una resistencia de pista a temperatura ambiente en el intervalo de 5 a 50 ohmios. Haciendo pasar una corriente eléctrica a través de la pista, la pista comenzará a calentarse y esta energía térmica se disipará directamente en el sustrato de AIN. Debido a la excelente conductividad térmica del AIN, el calentamiento del AIN a través del sustrato es muy uniforme, típicamente entre 10 y 20 grados. Dependiendo del flujo de corriente y del entorno ambiental, se pueden conseguir temperaturas de sustrato estables superiores a 1100 °C. Dado que tanto el AIN como el Pt son resistentes a ataque por oxígeno, tales temperaturas se pueden conseguir con el sustrato en contacto con el aire. Sin embargo, para aplicaciones de tubo de rayos X, el sustrato típicamente se calienta al vacío.

En referencia a la figura 17, se sitúan reflectores de calor 930 cerca del lado calentado del sustrato de AIN 920 para mejorar la eficiencia de calentamiento, reduciendo las pérdidas de calor por transferencia radiante de calor. En este modo de realización, el escudo térmico 930 se forma a partir de una lámina de mica recubierta por una capa delgada de oro. La adición de una capa de titanio bajo el oro mejora su adhesión a la mica.

Con el fin de generar electrones, se deposita una serie de tiras de Pt 932 sobre el sustrato de AIN 920 en el lado opuesto del sustrato de AIN al calefactor 922 con sus extremos extendiéndose alrededor de los lados del sustrato y acabando en la cara inferior del sustrato donde forman las placas 924. Típicamente estas tiras 932 se depositarán utilizando tintas de Pt y un recocido térmico subsiguiente. Las tiras de Pt 922 se recubren después en una región central de las mismas con una capa delgada de una mezcla de carbonato de Sr:Ba:Ca 918. Cuando el material de carbonato se calienta hasta temperaturas típicamente superiores a 700 °C, se descompondrá en óxidos de Sr:Ba:Ca -materiales de función de trabajo baja que son fuentes de electrones muy eficientes a temperaturas típicamente de 700-900 °C).

Con el fin de generar un haz de electrones, la tira de Pt 932 se conecta a una fuente de energía eléctrica con el fin de originar la corriente de haz que se extrae de los óxidos de Sr:Ba:Ca en el vacío. En este ejemplo esto se consigue utilizando un conjunto tal como el mostrado en la figura 17. Aquí, un conjunto de resortes 926 proporciona conexión eléctrica a las placas 924 y conexión mecánica al sustrato de AIN. Preferiblemente estos resortes estarán fabricados de tungsteno aunque pueden utilizarse molibdeno u otros materiales. Estos resortes 926 se flexionan de acuerdo con la expansión térmica del conjunto emisor de electrones 916, proporcionando un procedimiento de interconexión fiable.

Las bases de los resortes están situadas preferiblemente en tubos de paredes delgadas 934 con mala conductividad térmica pero una buena conductividad eléctrica que proporcionan conexión eléctrica a una placa de circuito cerámica subyacente 928. Típicamente esta placa de circuito subyacente 928 proporcionará pasos de vacío para las señales de control/potencia que están controladas individualmente en base a cada emisor. La placa de circuito está fabricada de la mejor manera de un material con propiedades de desgasificación bajas tal como cerámica de aluminio.

Una configuración alternativa invierte el tubo de paredes delgadas 934 y el conjunto de resortes 926 de tal modo que el tubo 934 funciona a temperatura alta y el resorte 926 a temperatura baja como se muestra en la figura 18. Esto permite una mayor elección de materiales de resorte ya que la fluencia del resorte se reduce a temperaturas más bajas.

5 Es ventajoso en este diseño utilizar interconexiones de Pt 924 envolventes o de orificio pasante sobre el sustrato de AlN 920 entre la superficie de emisión superior y el punto interconexión inferior 924 como se muestra en las figuras 16a y 16b. Alternativamente, se puede utilizar un conjunto de pinza para conectar la fuente de alimentación eléctrica con la superficie superior del sustrato de AlN.

10 Está claro que se pueden utilizar procedimientos de montaje alternativos incluyendo conjuntos soldados, conjuntos soldados a alta temperatura y otras conexiones mecánicas tales como espigas a presión y resortes en bucle.

15 El AlN es un material semiconductor de banda vacía ancha y un contacto semiconductor de inyección se forma entre el Pt y el AlN. Para reducir la corriente inyectada que puede tener lugar a temperaturas de funcionamiento elevadas, es ventajoso convertir el contacto de inyección en un contacto de bloqueo. Esto se puede conseguir, por ejemplo, haciendo crecer una capa de óxido de aluminio sobre la superficie del sustrato de AlN 920 antes de la fabricación de la metalización de Pt.

Alternativamente, se puede utilizar un número de otros materiales en lugar de Pt, tales como tungsteno o níquel. Típicamente, tales metales pueden sinterizarse en la cerámica durante su procedimiento de cocción para ofrecer un dispositivo híbrido robusto.

20 En algunos casos, es ventajoso recubrir el metal sobre sustrato de AlN con un segundo metal, tal como Ni. Esto puede ayudar a prolongar la vida útil de emisor de óxido o a controlar la resistencia del calefactor, por ejemplo.

En un ejemplo adicional, el elemento calefactor 922 se forma sobre la parte posterior del bloque emisor 917 de modo que la cara inferior del bloque emisor 917 de la figura 16a es como se muestra en la figura 16b. Las placas conductoras 924 mostradas en las figuras 16a y 16b son pues el mismo componente y proporcionan los contactos eléctricos a los elementos conectores 926.

25

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un escáner de rayos X que comprende una fuente de rayos X que comprende un conjunto lineal de puntos fuente (802) y medios de detección de rayos X que comprenden un conjunto lineal de detectores (804) y medios de control, en el que los conjuntos lineales se disponen de modo sustancialmente perpendicular entre sí y los medios de control se disponen para controlar o los puntos fuente o los detectores para operar en una pluralidad de agrupamientos sucesivos, caracterizado por que los agrupamientos sucesivos comprenden grupos de distinto número de puntos fuente o detectores y en cada agrupamiento los puntos fuente o los detectores están divididos en grupos de igual número de puntos fuente o detectores contiguos y los puntos fuente en grupos alternos se activan simultáneamente o los detectores en grupos alternos se leen simultáneamente.
- 10 2. Un escáner de rayos X de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el conjunto de puntos fuente (802) y el conjunto de detectores (804) se disponen de modo que definan un volumen tridimensional (805) delimitado por líneas (807) que unen los puntos fuente (802a; 802b) en los extremos del conjunto de puntos fuente con los detectores (804a; 804b) en los extremos del conjunto de detectores.
- 15 3. Un escáner de rayos X de acuerdo con la reivindicación 1 o con la reivindicación 2 en el que los medios de control se disponen para activar cada uno de los puntos fuente y para registrar una lectura de cada uno de los detectores.
- 20 4. Un escáner de rayos X de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que los medios de control se disponen para analizar lecturas de los detectores utilizando una transformada matemática para producir una imagen tridimensional de un objeto.
- 25 5. Un escáner de rayos X de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que los medios de control se disponen para operar los puntos fuente en dicha pluralidad de agrupamientos y se toman lecturas simultáneamente de cada uno de los detectores para cada uno de dichos agrupamientos.
- 30 6. Un escáner de rayos X de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 en el que los medios de control se disponen para operar los detectores en dicha pluralidad de agrupamientos y para cada agrupamiento, activar cada uno de los puntos fuente en turnos para producir lecturas respectivas.
- 35 7. Un escáner de rayos X de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que los puntos fuente comprenden medios de emisión de electrones (18; 118; 218; 318; 418) que definen una pluralidad de regiones fuente de electrones (318), una rejilla de extracción (20) que define una pluralidad de regiones de rejilla (120; 220; 320; 420), asociada cada una con al menos una de las respectivas regiones fuente y los medios de control se disponen para controlar el potencial eléctrico relativo entre cada una de las regiones de rejilla y la región fuente respectiva de modo que la posición desde la que se extraen los electrones de los medios de emisión puede desplazarse entre dichas regiones fuente.
- 40 8. Un escáner de rayos X de acuerdo con la reivindicación 7 en el que la rejilla de extracción comprende una pluralidad de elementos de rejilla separados a lo largo de los medios de emisión.
- 45 9. Un escáner de rayos X de acuerdo con la reivindicación 8 en la que los medios de emisión comprenden un miembro emisor alargado y los elementos de rejilla están separados a lo largo del miembro emisor de tal modo que cada una de las regiones fuente está en una posición respectiva a lo largo del miembro emisor.
- 50 10. Un escáner de rayos X de acuerdo con la reivindicación 8 o la reivindicación 9 en el que los medios de control se disponen para conectar cada uno de los elementos de rejilla bien a un potencial eléctrico de extracción que es positivo con respecto a los medios de emisión o bien a un potencial eléctrico de inhibición que es negativo con respecto a los medios de emisión.
11. Un escáner de rayos X de acuerdo con la reivindicación 10 en el que los medios de control se disponen para conectar los elementos de rejilla al potencial de extracción sucesivamente en parejas contiguas de modo que se dirige un haz de electrones entre cada pareja de elementos de rejilla.
12. Un escáner de rayos X de acuerdo con la reivindicación 11 en el que cada uno de los elementos de rejilla puede conectarse al mismo potencial eléctrico de cualquiera de los elementos de rejilla que son contiguos al mismo, de modo que pueda ser parte de dos parejas diferentes de dichas parejas.
13. Un escáner de rayos X de acuerdo con la reivindicación 11 o la reivindicación 12 en el que los medios de control se disponen, mientras que cada una de dichas parejas contiguas está conectada al potencial de extracción, para conectar los elementos de rejilla a cada lado de la pareja al potencial de inhibición.
14. Un escáner de rayos X de acuerdo con la reivindicación 13 en el que los medios de control se disponen,

mientras cada una de dichas parejas contiguas está conectada al potencial de extracción, para conectar todos los elementos de rejilla que no están en la pareja al potencial de inhibición.

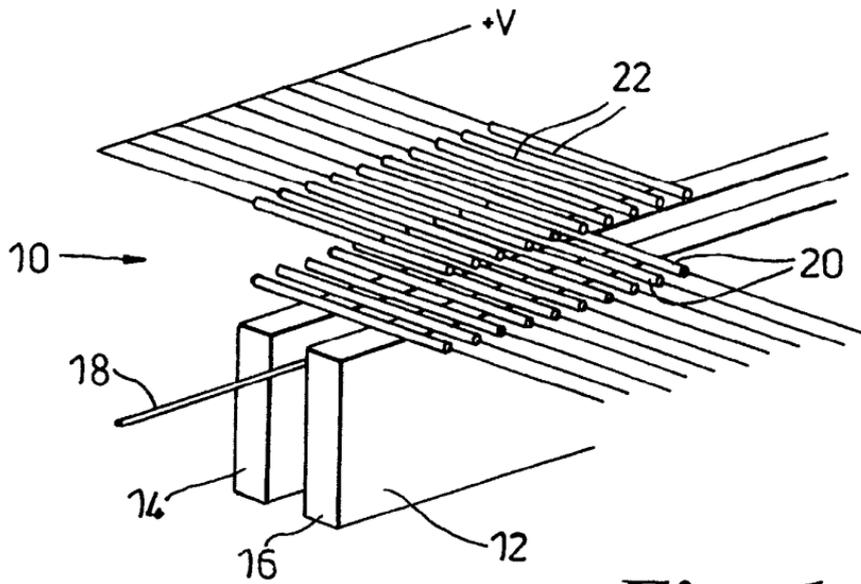


Fig. 1

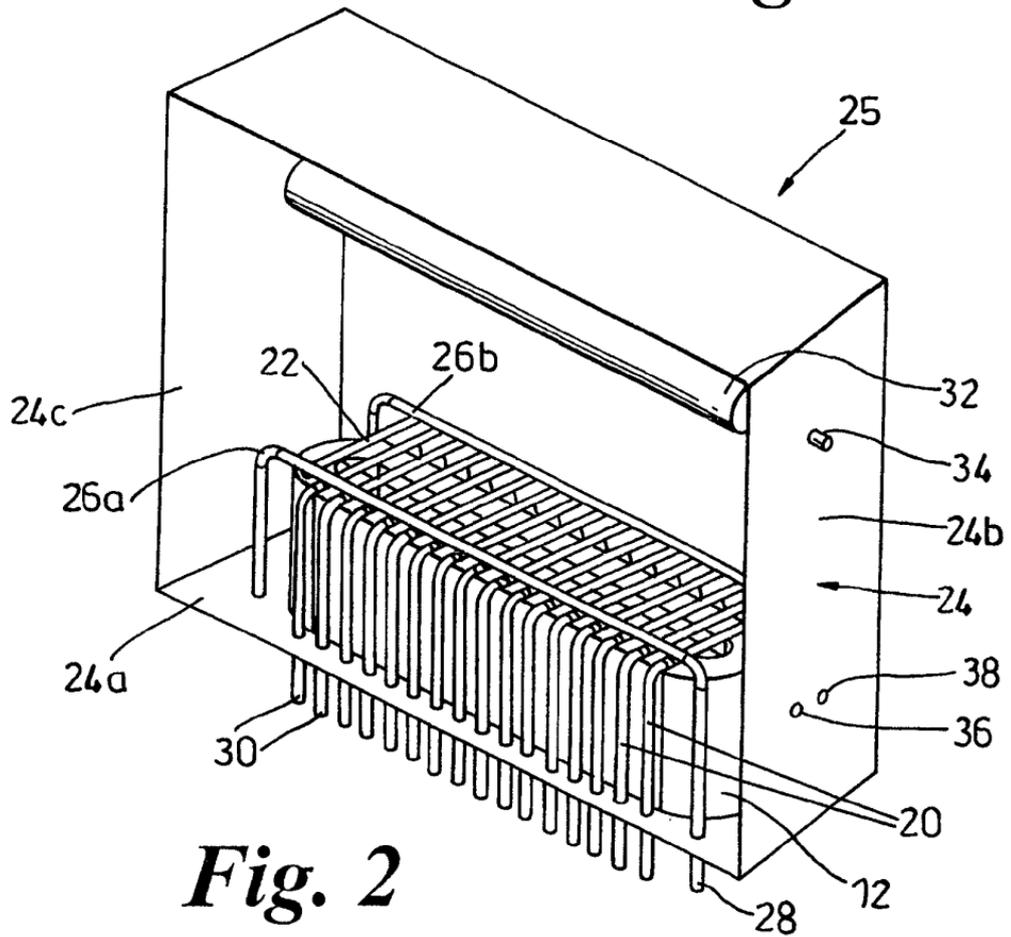


Fig. 2

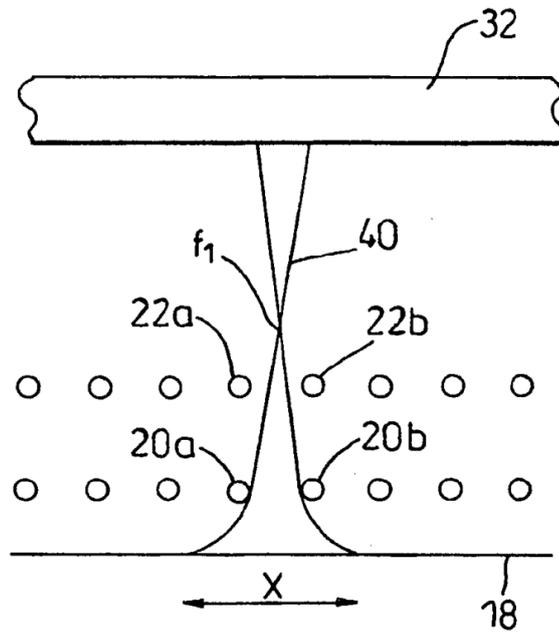


Fig. 3

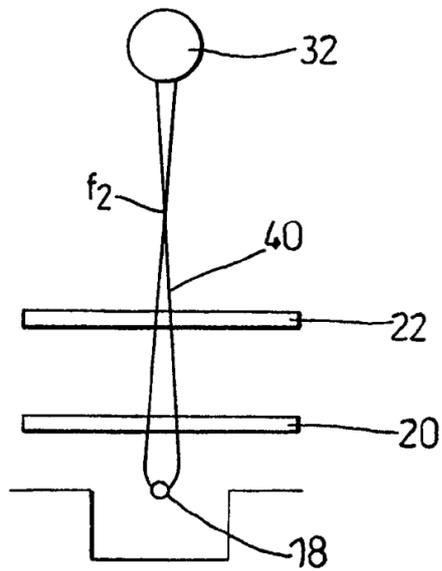


Fig. 4

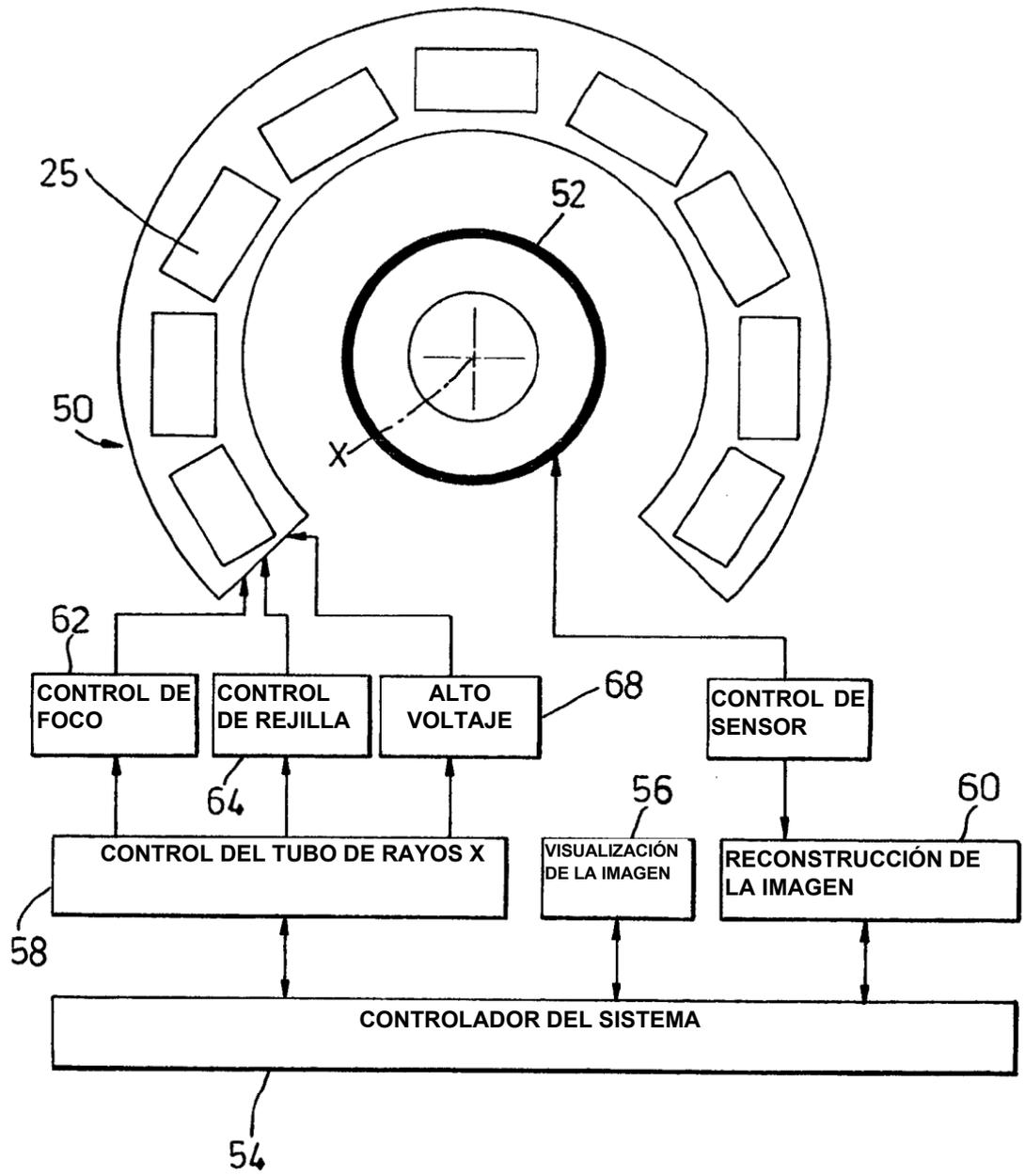


Fig. 5

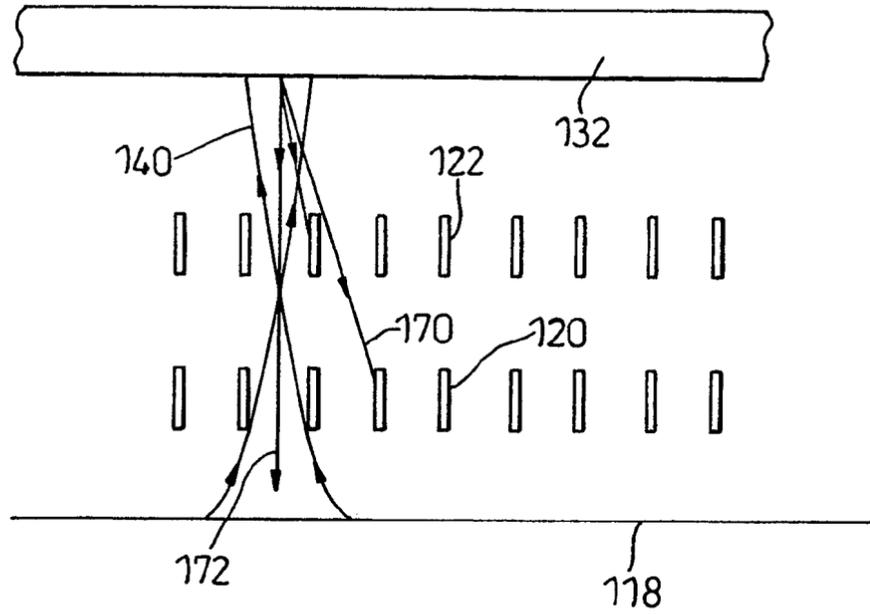


Fig. 6

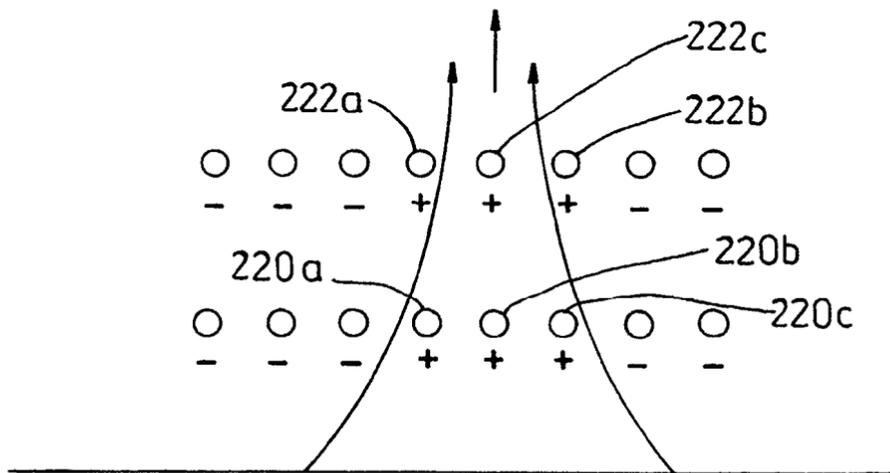


Fig. 7

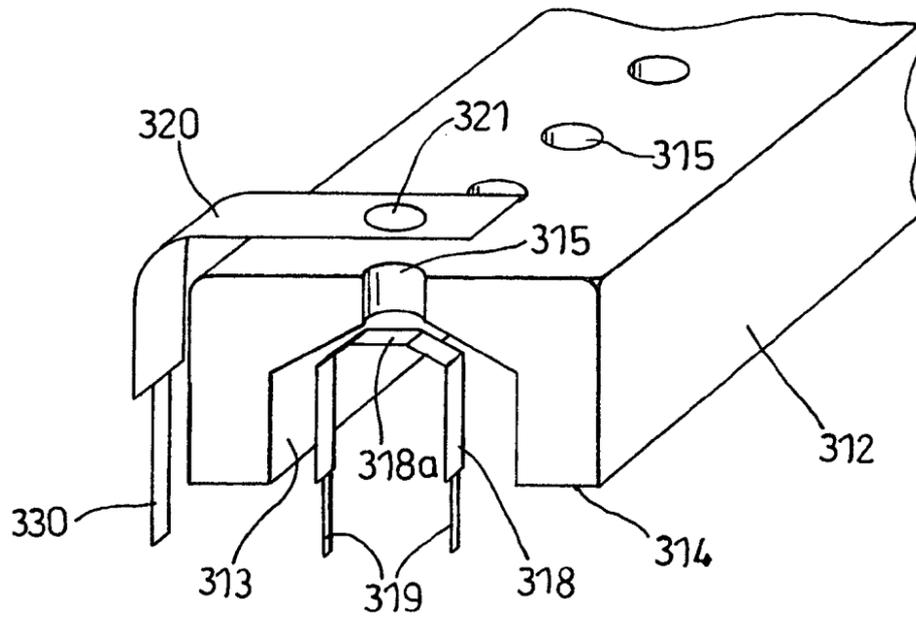


Fig. 8

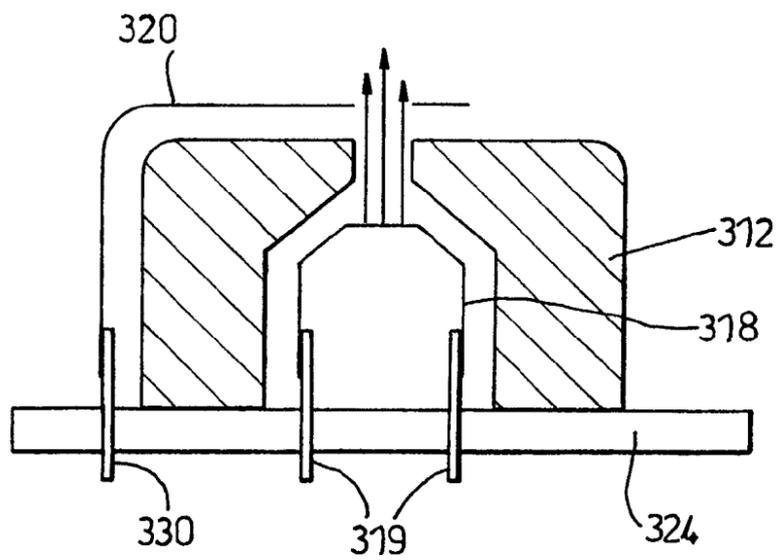


Fig. 9

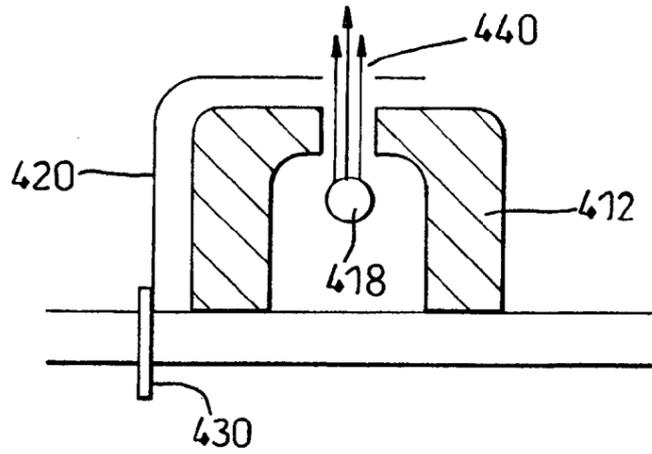


Fig. 10

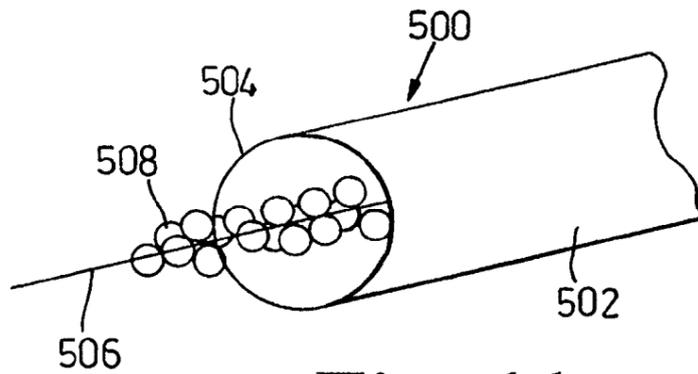


Fig. 11

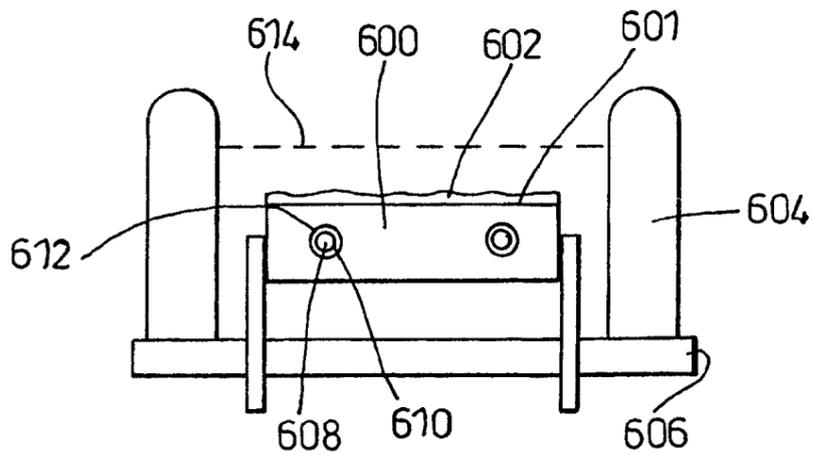


Fig. 12

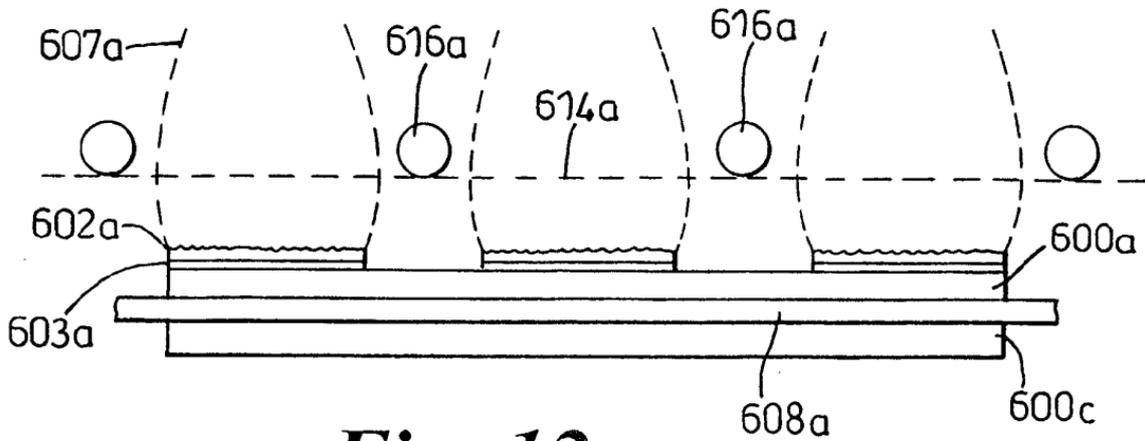


Fig. 12a

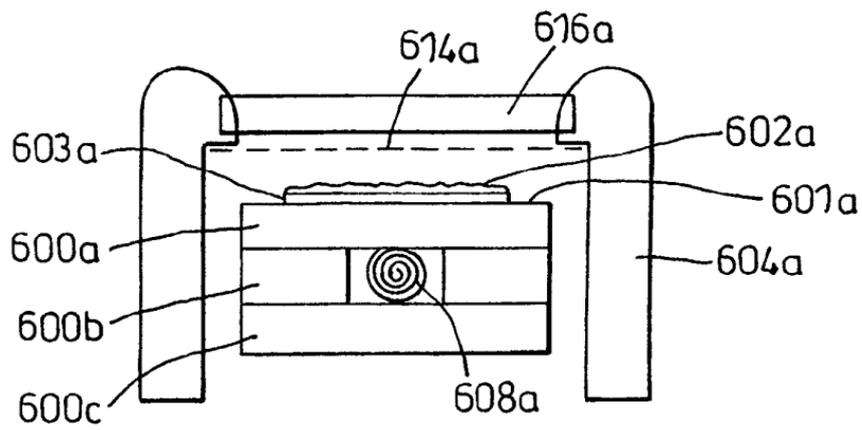


Fig. 12b

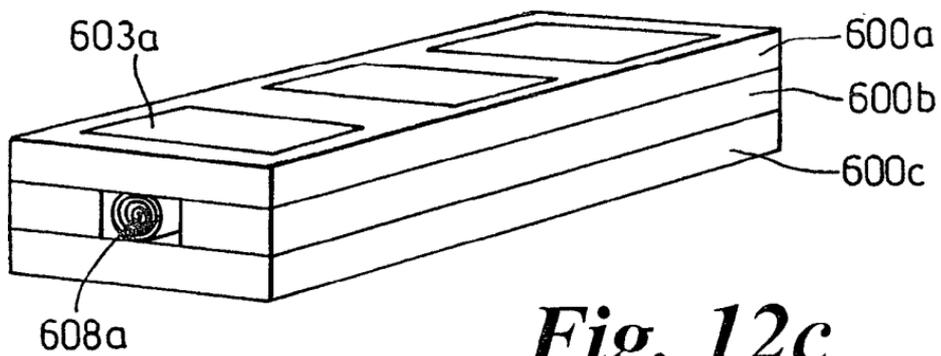
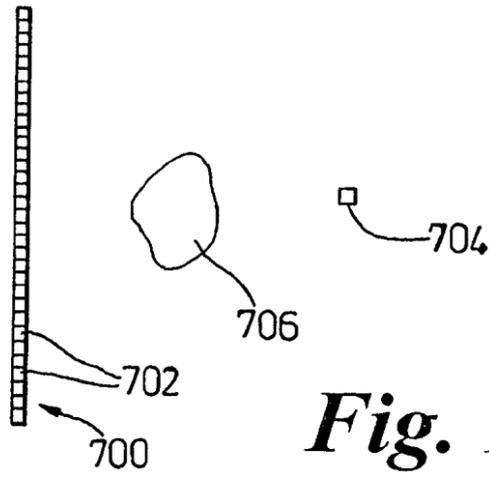


Fig. 12c



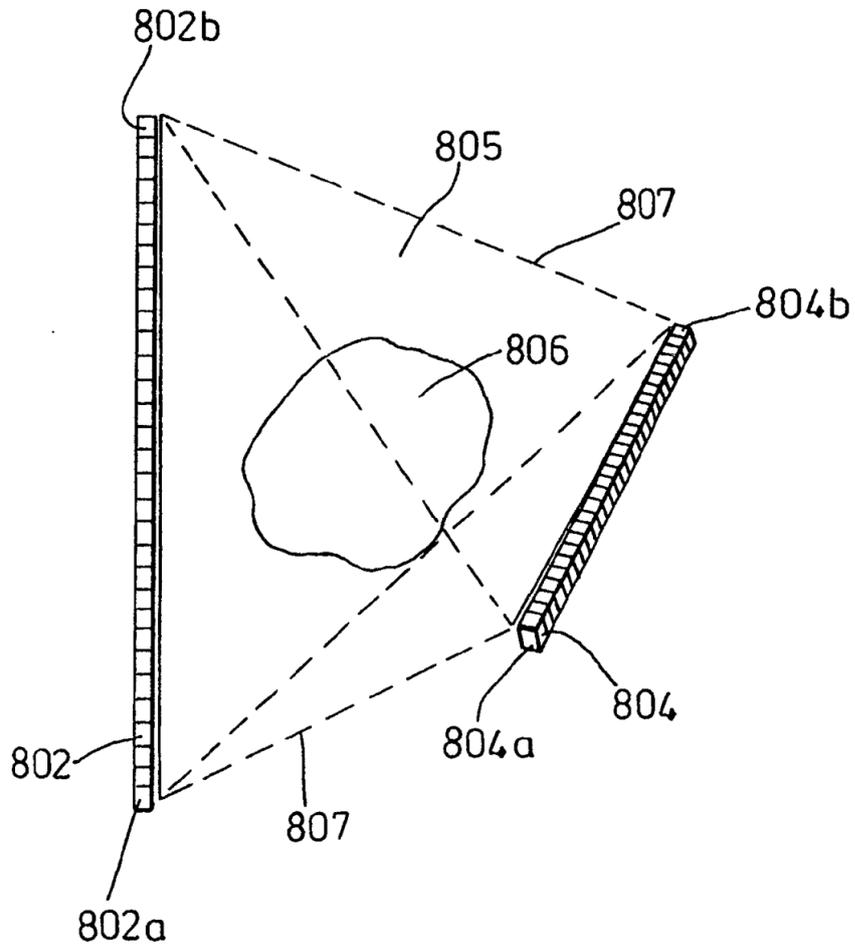


Fig. 15

