

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 569 122**

51 Int. Cl.:

H01J 35/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.08.2010 E 10807249 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2016 EP 2465331**

54 Título: **Aparato para producir rayos X para su uso en imagenología**

30 Prioridad:

07.08.2009 US 232317 P

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

06.05.2016

73 Titular/es:

**THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA (100.0%)
1111 Franklin Street, 12th Floor
Oakland, CA 94607, US**

72 Inventor/es:

**TRAVISH, GIL;
YODER, RODNEY B. y
ROSENZWEIG, JAMES**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 569 122 T3

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

DESCRIPCIÓN

Aparato para producir rayos X para su uso en imagenología

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la Invención

Esta invención se refiere en general a dispositivos y métodos para la producción de rayos X, y más particularmente a un generador de rayos X, basado en un cristal piezoeléctrico o piroeléctrico, que es ligero, compacto y no necesita una fuente de alimentación externa grande. Emisores de campo formados como regiones expuestas de escala micrométrica en el cristal que tienen uno o más picos o crestas afilados, emiten electrones que impactan en un blanco u objetivo de radiación de frenado para producir rayos X. También se puede usar una matriz o mosaico de cristales en lugar de un solo cristal.

15 2. Descripción de la técnica relacionada

Una amplia variedad de sistemas médicos de diagnóstico por imagen y tratamiento, sistemas de ensayos industriales y sistemas de análisis de seguridad están centrados en las diferencias en la absorción de los rayos X por diferentes materiales. La resolución de la imagen bidimensional de un objeto tridimensional, producida por los dispositivos de imagenología convencionales, depende a menudo de diversos parámetros que incluyen el tiempo de exposición a los rayos X y la intensidad del haz.

El tubo de rayos X convencional, en configuraciones ya sea de ánodo giratorio o del tipo de tubo de Crooke, es el caballo de batalla de muchos sistemas de imagenología médicos. Pese a que ha habido un sinnúmero de mejoras, el mecanismo básico de imagenología de rayos X con el tubo de rayos X se ha mantenido sin cambios durante décadas. Los tubos de rayos X convencionales suelen consistir en un alojamiento de vacío que contiene un ánodo y un cátodo. Los cátodos son filamentos emisores electrones, hechos a menudo de tungsteno, aluminio, titanio o acero. Cátodos fríos a veces incluyen un recubrimiento de tierras raras para aumentar la emisión de electrones. Los ánodos están hechos a menudo de metales como el molibdeno, paladio, tungsteno, cobre y plata.

Se utiliza una fuente de alta tensión para crear un arco o descarga de electrones entre el cátodo negativo emisor de electrones y el ánodo positivo. Dentro del arco hay electrones con energías cinéticas en o cerca del potencial aplicado, que son acelerados a través del campo eléctrico entre el cátodo y el ánodo. Cuando estos electrones acelerados inciden sobre un objetivo (típicamente el ánodo), se producen rayos X a través de Bremsstrahlung ("radiación de frenado"), así como otros procesos de ionización (por ejemplo, "radiación característica" de electrones de la capa interna).

Los tubos convencionales pueden ser relativamente ligeros (unos pocos kilogramos) y frágiles, dado que están fabricados a partir de vidrio. Sin embargo, las fuentes de alimentación son típicamente grandes, caras y pesadas (de decenas de kilogramos). La mayor parte de la potencia aplicada se transforma en calor residual, lo que requiere refrigeración y aumenta aún más el volumen y el peso de los aparatos de rayos X convencionales.

Se han considerado diversas tecnologías para reducir el tamaño y el peso de las fuentes de rayos x. Los microtubos de rayos X son un intento de construir dispositivos a escala milimétrica mediante la miniaturización del diseño del tubo convencional. Estos dispositivos todavía requieren fuentes externas de alta tensión (así como la refrigeración por agua, en algunos casos); sin embargo, el peso de la propia unidad (excluyendo la fuente de tensión y el sistema de refrigeración) es muy bajo. Puesto que se diseñan típicamente para la terapia del cáncer, donde la precisión de la dosis es crítica, los diseños no están optimizados para el costo. Un número típico de ciclos de tratamiento por tubo es de aproximadamente 10.

Varios investigadores han investigado emisores de campo de electrones en diversos contextos. En principio, se sabe que este tipo de emisores de campo o redes de estos emisores son capaces de producir rayos X mediante la irradiación de un blanco de bremsstrahlung con electrones. La energía de los electrones, y por lo tanto de los rayos X emitidos, es directamente proporcional a la tensión aplicada. Mantener una tensión lo suficientemente elevada (30-120 kV) a través de un pequeño espacio, sin fallos es muy difícil y ha sido un obstáculo para la miniaturización. (Las redes de emisores de campo utilizadas por ejemplo en los televisores de plasma, funcionan a sólo unos pocos cientos de voltios.) También se ha desarrollado una tecnología variante, la red de emisores de cátodo frío, y se están lanzando al mercado fuentes de rayos X de pantalla plana basados en esta tecnología. Este enfoque parece muy prometedor, pero todavía requiere una fuente de alimentación externa importante.

Las fuentes radiactivas también pueden proporcionar una buena fuente de rayos X. Las fuentes basadas en Co-60 todavía se usan en los países en desarrollo para radiografías médicas y dentales. Sin embargo, la preocupación sobre la seguridad y la proliferación de materiales nucleares hace que estos sistemas sean muy indeseables. Por otra parte, el blindaje de las fuentes implica que los dispositivos tiendan a ser muy pesados, del orden de cientos de kilogramos.

65

Un ejemplo de una fuente de rayos X conocida, basada en el efecto piroeléctrico, se fundamenta en un cristal grueso piroeléctrico que emite electrones que a continuación impactan sobre un blanco de cobre. Los rayos X resultantes se emiten a través de una ventana de berilio de 15 mm de diámetro. Esta fuente produce flujos esporádicos de rayos X sobre un área de emisión pequeña, carece de repetibilidad o control y también tiene un flujo de salida casi aleatorio.

En consecuencia, existe una necesidad de una fuente de pantalla plana de rayos X que sea robusta y portátil y no necesite una fuente de tensión de gran tamaño. Las fuentes de rayos X pueden seguir un camino de desarrollo similar al de las televisiones y pantallas de vídeo que han pasado de las tecnologías basadas en tubos a pantallas planas. La presente invención satisface esta necesidad, así como otras, proporcionando un conjunto modular direccionable de fuentes de rayos X que es autónomo y se puede utilizar en lugares distantes.

US 2004/028183 A1 describe métodos y aparatos para el control independiente de la corriente de emisión de electrones y energía de rayos X en tubos de rayos X. El control independiente se puede conseguir ajustando la distancia entre un cátodo y un ánodo. El control independiente también se puede lograr mediante el ajuste de la temperatura del cátodo. También se puede lograr el control independiente mediante la excitación óptica del cátodo. El cátodo puede incluir materiales emisores de campo tales como los nanotubos de carbono. El documento WO 2009/052176 A1 describe una fuente no radiactiva para ionización a Presión Atmosférica. El tubo hermético del haz de electrones utiliza cristal(es) piroeléctrico(s). Un extremo del(de los) cristal(es) está conectado a tierra mientras que el otro extremo tiene un casquillo metálico afilado para generar un haz de electrones de una energía dada por la emisión de campo.

La velocidad de calentamiento y / o enfriamiento del(de los) cristal(es) se utiliza para controlar la corriente generada a partir de un tubo. Un elemento de calentamiento y/o enfriamiento, tal como un elemento Peltier, es útil para controlar la velocidad de enfriamiento del(de los) cristal(es). Se necesita una ventana delgada que sea transparente a los electrones, pero impermeable a los gases, con el fin de prolongar la vida del tubo y permitir la extracción de los electrones. Se pueden utilizar cristales múltiples con calentadores independientes para proporcionar un funcionamiento continuo del dispositivo.

BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

Un aparato comprende un cristal que tiene una superficie superior, siendo dicho cristal un cristal piroeléctrico o un cristal piezoeléctrico, una película conductora que recubre la superficie superior del cristal, incluyendo dicho cristal una pluralidad de emisores de campo de electrones, comprendiendo los emisores de campo de electrones una región de escala micrométrica, teniendo la región uno o más picos o crestas afilados y medios para controlar la temperatura del cristal cuando dicho cristal es un cristal piezoeléctrico, o medios para controlar el esfuerzo sobre el cristal cuando el cristal es un cristal piroeléctrico, en el que dicho cristal y dichos emisores de campo de electrones se mantiene en un entorno de baja presión.

Tal aparato puede ser utilizado para la producción de rayos X para su uso en aplicaciones de imagenología. En un ejemplo de realización, el aparato incluye un conjunto de cristales piezoeléctricos, teniendo cada cristal una superficie superior generalmente plana con un recubrimiento de película conductora. El cristal incluye una pluralidad de emisores de campo y un calentador/enfriador adyacente al cristal. Los emisores de campo de electrones están formados como regiones expuestas de escala micrométrica en la superficie de cristal, que tienen un uno o más picos o crestas afilados.

En una forma de realización, el aparato comprende además un alojamiento modular, una segunda película conductora recubriendo dicho cristal y dichos emisores de campo de electrones, y un blanco, dispuestos en la proximidad de dicha pluralidad de emisores de campo de electrones, en el que los electrones emitidos desde dichos emisores de campo de electrones inciden sobre dicho blanco para producir rayos X, y en el que dicho cristal y dichos emisores de campo de electrones se mantienen en dicho entorno de baja presión dentro de dicho alojamiento modular.

Se sabe que cristales piroeléctricos gruesos, tales como niobato de litio, generan emisiones esporádicas espontáneas de electrones de kilovoltios cuando se calientan o se enfrían a tasas óptimas. Los cristales piroeléctricos se polarizan normalmente de forma espontánea y esta polarización es compensada por la carga de la superficie en condiciones de equilibrio. Estos materiales experimentan un cambio en la polarización cuando el cristal se calienta o se enfría en un entorno de baja presión. La carga no-compensada resultante en la superficie del cristal crea un campo eléctrico que es lo suficientemente fuerte para acelerar los electrones o iones.

En la forma de realización preferida, el cristal piroeléctrico se calienta y enfría de forma alternativa durante un período de varios minutos de forma que se produce la polarización espontánea de carga en el cristal. En otra forma de realización, el efecto piezoeléctrico se utiliza a través de la estimulación mecánica del cristal en vez de térmica. En todos los casos, la polarización espontánea de la carga hace que aparezca un campo eléctrico perpendicular en las caras superior e inferior del cristal, y el campo eléctrico que surge de la superficie expuesta del cristal aumenta debido a los picos o crestas afilados, lo que provoca la emisión de campo de electrones de superficie desde esa posición. Los haces de electrones que se emiten desde los picos de los emisores de campo son dirigidos hacia a un

blanco de radiación de frenado, provocando la formación de rayos X. También se contemplan otros usos de los haces de electrones producidos por los emisores.

5 Una ventaja obtenida con una forma de realización de base piezoeléctrica es que se puede excitar por medios acústicos que incluyen transductores y actuadores mecánicos. Además, es posible inducir la polarización espontánea piezoeléctrica utilizando una onda de choque producida, por ejemplo, a través de un impulso de láser. Además de un método de producción posiblemente más práctico, el enfoque piezoeléctrico podría permitir el control escala de tiempo más rápido.

10 Cristales piezoeléctricos o piroeléctricos individuales se montan preferiblemente juntos en una matriz plana, siendo la activación de los elementos de calentamiento/enfriamiento o la presión de cada uno de los cristales controlada por un controlador. El control sobre los cristales individuales permite ciclos de calentamiento y enfriamiento selectivos de cristales adyacentes a lo largo de escalas de tiempo deseadas y el control sobre la producción total de los rayos X por la matriz. El controlador permite la activación de los cristales individuales en la matriz en patrones tales como por ejemplo un damero, alternando el calentamiento y enfriamiento de los cristales adyacentes en la matriz.

15 En la forma de realización preferida, se utiliza como fuente de electrones el niobato de litio (LiNbO_3), tantalato de litio (LiTaO_3), titanato de bario (BaTiO_3), sulfato de triglicina (TGS) o algún otro cristal piroeléctrico. Los cristales piroeléctricos se cortan preferiblemente de modo que los planos superior e inferior del cristal sean normales al eje de polarización. En el equilibrio, la polarización espontánea de una cara del cristal es negativa (Z^-) y la otra cara es positiva (Z^+). El calentamiento del cristal en una atmósfera de vacío o de baja presión provocará un campo eléctrico y la eliminación de electrones de la superficie del cristal.

25 Se ha observado por otros que, tras el calentamiento, los electrones de la superficie del cristal y de los gases residuales ionizados puede ser acelerados por el campo eléctrico del cristal hacia un blanco apropiado para producir rayos X. También se observó que se produjeron rayos X característicos del cristal a partir de la superficie (Z^-) del cristal tras el calentamiento y rayos X característicos del blanco se observaron después del enfriamiento del cristal. La superficie (Z^-) del cristal se carga positivamente tras el calentamiento y se carga negativamente en el enfriamiento. Además, la intensidad del campo eléctrico producido por el cristal es proporcional a la densidad de carga superficial, que es una función del cambio de la temperatura y la presión de la cámara.

30 También se ha mostrado que la emisión de electrones piroeléctrica en ambientes de vacío o de muy baja presión puede estar influida por las distancias de separación entre el emisor de la superficie del cristal y el colector de electrones. Por ejemplo, con grandes separaciones (mayor de aproximadamente 2 milímetros), las emisiones de electrones desde la superficie del cristal son debidas a la ionización del campo que produce un plasma continuo. Sin embargo, con separaciones pequeñas (menos de aproximadamente 2 milímetros), las emisiones de electrones pueden estar influenciadas por igniciones de ionización intensas, con la formación de un plasma denso que puede ocurrir adicionalmente al efecto de emisión de campo.

35 Si bien los efectos de ionización de gases residuales señalados anteriormente están siempre presentes, el dispositivo descrito aquí no utiliza este efecto como unos medios primarios para generar la emisión de electrones. Más bien, aquí se utiliza preferiblemente la emisión de campo directa.

40 Las características del campo fuera de la influencia de cristal grueso influyen tanto en la emisión de electrones como en la energía de los electrones emitidos. La energía de los electrones aumentará a medida que aumenta el espesor del cristal hasta un límite y se puede optimizar. Sin embargo, los cristales piroeléctricos a menudo son malos conductores del calor. La elección del grosor del cristal también debería tener en cuenta la conducción de calor a través del cristal a lo largo del tiempo.

45 Se pueden producir por ataque químico o fresado cualquier cantidad de emisores de campo en las superficies planas del cristal, usando técnicas convencionales. A pesar de que sólo se requieren niveles intermedios de aumento del campo, es deseable fabricar las puntas con parámetros compatibles. Por lo tanto, se prefieren las técnicas de ataque químico y modelado litográficos al fresado de iones y tecnologías relacionadas. Sin embargo, cualquier técnica que produzca compatiblemente estructuras emisoras de campo en la superficie del cristal, es adecuada.

50 El emisor de campo individual comprende generalmente una región expuesta de escala micrométrica en el cristal que tiene un uno o más picos o crestas afilados. Los picos o crestas afilados que forman el emisor de electrones tienen preferiblemente una relación de aspecto entre altura y anchura mayor que la unidad. Como el campo superficial cerca de una punta aumenta drásticamente al disminuir el radio de la punta, es ventajoso fabricar puntas tan puntiagudas como sea posible. En una forma de realización, se retira una porción cilíndrica o cuadrada del cristal dejando un emisor central con una punta emisora. En otra forma de realización, el emisor central es una punta única cilíndricamente simétrica con un recubrimiento de metal o una aguja de metal unida.

En otra forma de realización, los picos o crestas afilados son generalmente piramidales o en forma de cuña y tienen paredes laterales con ángulos de 45 grados o más.

5 En otra forma de realización preferida, se forma un emisor de campo individual por fresado de dos zanjas paralelas separadas unos pocos micrómetros, para crear una larga cresta aguda entre las dos zanjas. Esta cresta puede ser mucho más puntiaguda que la punta cilíndrica y produce un aumento de la emisión mayor y más seguro. También se pueden utilizar tres y cuatro zanjas para crear dos o más crestas paralelas de emisión de electrones dentro del cristal.

10 En otra forma de realización, la punta o cresta afilada del emisor está recubierta con una capa de nanotubos, un metal de tierra rara o un metal pesado tal como oro, platino, galio o tungsteno etc. Los materiales de revestimiento de la punta elegidos son conductores y resisten la erosión de las puntas o crestas que resulta de las emisiones de electrones a lo largo del tiempo.

15 Los emisores de campo que se forman en la superficie del cristal están dispuestos preferentemente en patrones que están equidistantemente separados en una malla cuadrada, círculos concéntricos o líneas radiantes desde el centro, etc. El número de emisores puede variar y el número se elige para corresponder a la salida de rayos X deseada de la matriz.

20 La superficie superior del cristal es recubierta preferiblemente con un revestimiento de metal antes del fresado o ataque químico de las estructuras emisoras en de la superficie del cristal. Sin embargo, en una forma de realización, las estructuras emisoras se forman en la superficie del cristal primero y después de la formación del emisor se aplica una capa de metal de modo que hay una sola capa uniforme de metal sobre todas las superficies. En otra forma de realización, la superficie superior se recubre con un revestimiento de metal antes de formar las estructuras emisoras, y se aplica una segunda capa de metal conductor a la superficie del cristal después de formar las estructuras emisoras, cubriendo de esta forma toda la cara de cristal con una capa superior uniforme de metal. En una forma de realización, las estructuras emisoras son parte de la capa metálica superior. Los electrones de superficie producidos en otros lugares de la cara del cristal pueden conducir a través de la película metálica hasta las estructuras emisoras, proporcionando de ese modo un suministro casi continuo de carga para la emisión de campo.

30 Los electrones emitidos desde las puntas o crestas emisoras de campo son acelerados a través de una cámara del espacio de separación o hueco bajo vacío hacia un blanco. El espacio de separación es preferiblemente de dimensiones que limitan las descargas espontáneas de la punta emisoras y favorece un haz uniforme de electrones durante el calentamiento o el enfriamiento del cristal. También se pueden optimizar la presión y la composición de los gases residuales dentro del espacio de separación para maximizar el potencial de aceleración y para minimizar las apariciones de descargas espontáneas.

35 La presión en el espacio de separación se mantiene preferiblemente en el intervalo del UHV mejor que 10^{-6} Torr (1 Torr es igual a 133 Pa).

40 En otra forma de realización, la presión del espacio de separación se mantiene dentro del intervalo de aproximadamente 0,5 mTorr a 100 mTorr. En una forma de realización, se elimina el aire de la cámara del espacio de separación que rodea el cristal y entre los emisores y el blanco y es reemplazado por uno o más gases de balasto de manera que los gases residuales dentro de la cámara son de composición esencialmente uniforme. Los gases de balasto diluidos se pueden seleccionar en base a un número de factores tales como potencial de primera ionización, afinidad electrónica o reactividad con los materiales componentes. Las presiones óptimas tienden a disminuir con el aumento del espesor de cristal y del área de superficie.

50 La forma de realización preferida de la invención es una matriz plana modular que es independiente y fácilmente transportable. Una forma de realización ilustrativa del dispositivo incluye un alojamiento, un suministro de baterías, controlador, actuador a distancia, sensores y un panel generador de rayos X. La configuración de panel preferida es una matriz modular de módulos que se pueden colocar en un soporte rígido o en un sustrato de soporte flexible. Los módulos tienen preferiblemente un cristal piroeléctrico generalmente plano de tamaño adecuado colocado sobre una capa de control de temperatura, tal como un calentador de resistencia o una unión Peltier que esté controlada por un controlador y pueda tener sensores de temperatura opcionales acoplados al controlador para vigilar la temperatura del cristal y la salida de rayos X.

60 La superficie del cristal opuesta a la capa de control de temperatura está recubierta con una capa metálica en la que se ha eliminado las zonas sobre cada uno de los emisores de campo. La capa metálica iguala la carga de superficie sobre el cristal y proporciona una fuente de electrones libres (no unidos).

Se dispone una capa de blanco sobre la capa metálica y se hace el vacío creando una cámara cerrada sobre cada uno de los emisores de campo fresados en el panel. Las cámaras se sellan preferiblemente de modo que el vacío se mantiene en las cámaras con múltiples ciclos de calentamiento y enfriamiento del cristal.

65

Se pueden aplicar un colimador y filtro opcionales a la parte superior de la capa de blanco para filtrar y recoger los rayos X que se producen desde el blanco.

5 En otra forma de realización, se usa un segundo cristal como un ánodo que tiene el efecto de casi duplicar el campo en el espacio de separación y crear una producción de rayos X de energía más alta. En la configuración de doble cristal, la superficie negativa de un cristal proporciona un cátodo y el lado positivo del segundo cristal como un ánodo, dando como resultado que la energía de los campos, los electrones y los rayos X casi se duplique.

10 La presente invención no se limita a los ejemplos anteriores, sino que se puede mejorar mediante la variación de las dimensiones y características de los diversos componentes. Por ejemplo, la respuesta de un cristal se optimiza preferiblemente mediante el control del tamaño, la pureza, la conductividad, el coeficiente dieléctrico, la composición química, el montaje, y la rugosidad del cristal. La geometría de los componentes del panel se elige preferiblemente para maximizar el campo eléctrico, la energía de emisión de electrones, la minimización de descargas o cualquier otro parámetro deseable.

15 Además, todas las formas de cristales piezoeléctricos son también apropiadas, creando formas de realización que incluyen cristales donde se pueden utilizar el estrés y tensión mecánica, en lugar de la temperatura, para crear campos y haces de electrones para la producción de rayos X. También se pueden utilizar cristales laminados o estratificados. Por ejemplo, el cristal comprende una estructura de capas que tiene una primera sección (inferior) como un generador de campo y una segunda sección (superior) como emisor.

20 Por último, la elección de los parámetros de diseño para todo el sistema tiene en cuenta las muchas diferentes variables. Los parámetros incluyen, pero no se limitan a, la intensidad y la dependencia espacial del campo eléctrico, la localización del campo eléctrico, la corriente de electrones emitidos, y la energía y la cantidad de rayos X generados por el cristal con varios montajes, puntas y estímulos.

25 Formas de realización del aparato anterior pueden proporcionar una fuente de rayos x o de electrones que sea portátil, fácil de usar y que no requiera una fuente de potencia externa grande para funcionar.

30 Formas de realización del aparato anterior pueden proporcionar una fuente de electrones o de rayos X que esté centrada en un cristal piezoeléctrico o piroeléctrico que tenga una pluralidad de emisores de electrones formados en el cristal con puntas o crestas afiladas que produzcan haces paralelos de electrones o de rayos X.

35 En formas de realización del aparato anterior el cristal piroeléctrico o piezoeléctrico puede tener una o más capas de un metal conductor que iguala la carga de superficie sobre el cristal y proporciona una fuente de electrones libres.

Formas de realización del aparato anterior pueden proporcionar un mecanismo para el control de la emisión piroeléctrica desde un cristal.

40 Formas de realización del aparato anterior pueden proporcionar una matriz modular direccionable de fuentes de rayos X sobre un soporte rígido o flexible que se puede producir utilizando procedimientos de fundición.

45 Otros aspectos de la invención saldrán a relucir en las siguientes partes de la memoria, en donde la descripción detallada es con el propósito de describir completamente formas de realización preferidas de la invención sin poner limitaciones a la misma.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS DIVERSAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

La invención se entenderá mejor por referencia a los siguientes dibujos, que son sólo para fines ilustrativos:

50 La FIGURA 1 es una vista en perspectiva despiezada de una forma de realización de un módulo en el que se representa un único emisor de campo formado en el centro de un cristal piroeléctrico.

La FIGURA 2 es una vista lateral esquemática en sección transversal de un módulo como el mostrado en la FIGURA 1 con una capa superior colimadora.

55 La FIGURA 3 es una vista lateral esquemática en sección transversal de una forma de realización alternativa de un módulo como el mostrado en la FIGURA 1.

La FIGURA 4 es una vista lateral esquemática en sección transversal de una segunda forma de realización alternativa de un módulo como el mostrado en la FIGURA 1 con el emisor de cuña formado en la capa de metal en la superficie del cristal.

60 La FIGURA 5 es una vista lateral detallada de un emisor de campo, secciones de espacio de separación y de blanco que pueden incluirse en el módulo de la FIGURA 1.

La FIGURA 6 son vistas esquemáticas en sección transversal de configuraciones alternativas de puntas emisoras de campo que se pueden incluir en el módulo de la FIGURA 1.

La FIGURA 7 es una imagen de microscopio electrónico de exploración de una forma de realización de un emisor con una cámara circular y punta cónica con un revestimiento de oro sobre el cristal.

La FIGURA 8 es una imagen de microscopio electrónico de exploración de una segunda forma de realización de un emisor con canales paralelos que forman un emisor en forma de cuña y un revestimiento de oro sobre la superficie del cristal.

La FIGURA 9 es una vista frontal de una forma de realización de una matriz de módulos.

5 La FIGURA 10 es una vista en perspectiva de la forma de realización de la matriz de la FIGURA 9 con un formador de imágenes y un actuador a distancia.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

10 Haciendo referencia más específicamente a los dibujos, con fines ilustrativos, la presente invención está incorporada en el aparato que se muestra de forma general en las FIGURA 1 a FIGURA 10 y los métodos asociados que se utilizan para crear y optimizar el aparato. Se apreciará que los dispositivos y sistemas pueden variar en cuanto a configuración y en cuanto a los detalles de las partes, y que el método puede variar en cuanto a las etapas específicas y secuencia, sin apartarse de los conceptos básicos tal como se definen en las reivindicaciones.

15 Las formas de realización según la presente invención pueden proporcionar un aparato autónomo, fácilmente transportable, para la producción de electrones o de rayos X para su uso en una variedad de aplicaciones médicas o industriales. Los rayos X o electrones se producen preferiblemente mediante uno o más módulos compactos "de panel plano". Cada módulo emisor de campo produce un flujo continuo de electrones cuando se realiza un ciclo con su temperatura. Los electrones emitidos irradian un punto de tamaño micrométrico sobre un blanco de radiación de frenado adyacente, produciendo de esta manera un flujo de rayos X. Se pueden montar uno o más módulos en una matriz y activarse de forma individual mediante un controlador. La matriz resultante de fuentes de rayos X se puede configurar en diversas disposiciones posibles, incluyendo un único punto de fuente, una línea que podría ser barrida a través de la región de la que se forma imagen, o una matriz de 2D.

25 Aunque el módulo incluye una pluralidad de emisores de campo dispuestos en un patrón en la superficie de un cristal, por simplicidad se representa un aparato con un único emisor para ilustrar esta forma de realización.

30 Volviendo ahora a las Figura 1 y Figura 2, se muestra esquemáticamente un módulo 10 con un cristal piroeléctrico y un único emisor de electrones de campo mejorado. En esta forma de realización, un cristal piroeléctrico 14 está colocado sobre un dispositivo de control de temperatura 12 que es preferiblemente capaz de calentar o enfriar el cristal con el tiempo a velocidades seleccionadas. Por ejemplo, la temperatura puede ser controlada por una unión Peltier, calentador de película resistiva, refrigerador o aparato similar de control de temperatura colocado en la cara posterior (montado en sustrato) del cristal 14, con contactos de control de temperatura que forman el único control externo necesario para el dispositivo. En una forma de realización, el dispositivo de control de la temperatura 12 incluye un sensor de temperatura que vigila la temperatura del cristal o el dispositivo de control de temperatura y esas temperaturas son controladas por un controlador.

40 Como se ve en la FIGURA 2, la superficie inferior 26 del dispositivo de control de temperatura 12 puede estar montada sobre un sustrato de soporte plano. Se pueden montar uno o más módulos en el soporte para proporcionar un panel de módulos independientemente controlables de cualquier tamaño deseado. En una forma de realización adicional, también se podría incrustar una matriz de módulos emisores 10 en una membrana flexible (tal como un polímero) en lugar de colocarla sobre un soporte rígido. Dicha matriz flexible podría doblarse o enrollarse para su transporte o almacenamiento, y luego desdoblarse y ser colocada sobre el paciente para su uso.

45 El cristal 14 que se utiliza en esta forma de realización puede ser cualquier cristal piroeléctrico que produzca un campo eléctrico con un cambio en la temperatura. Ejemplos típicos de cristales piroeléctricos 14 que pueden utilizarse con el módulo emisor 10 son el niobato de litio (LiNbO_3), tantalato de litio (LiTaO_3), titanato de bario (BaTiO_3) o sulfato de triglicina (TGS). Todos estos emiten electrones desde la cara Z positiva durante el calentamiento.

50 Por ejemplo, se puede cortar un cristal típico y montarlo sobre un sustrato de tal forma que la cara correcta esté expuesta. Pero también es posible utilizar un cristal grueso cortado a lo largo del plano Z, sin un sustrato. En otro posible método de construcción, se puede utilizar un compuesto que comprenda dos capas, cada capa de un diferente material piroeléctrico. En este caso, el material inferior proporcionaría el campo eléctrico de aceleración, mientras que el superior sirve como un depósito de carga y contiene emisores de campo.

60 Cristales piroeléctricos tales como de niobato de litio son muy buenos aislantes eléctricos y, por lo mismo, malos conductores del calor. En la configuración descrita en las FIGURA 1 a FIGURA 5, se utiliza un calentador o un controlador de la temperatura en la cara (sustrato) posterior 26 del cristal 14 para subir o bajar la temperatura en la cara superior (emisora) del cristal 14. Para un rendimiento óptimo, se debe mantener el espesor del cristal pequeño, con el fin de permitir la conducción de calor en un tiempo razonable. El valor más pequeño compatible con un gradiente de campo razonable (que aumenta con el espesor del cristal hasta un cierto límite) es del orden de aproximadamente un milímetro.

Aunque se ilustra un cristal piroeléctrico 14, se comprenderá que se puede adaptar un cristal piezoeléctrico y medios para activar el cristal para utilizarlo en lugar de un cristal piroeléctrico para generar los electrones y los campos necesarios. También se pueden usar cristales piroeléctricos laminados.

5 Una posible ventaja para usar de un dispositivo de base piezoeléctrica es que se puede excitar por medios acústicos, incluidos los transductores, así como actuadores mecánicos. Además, puede ser posible inducir la polarización espontánea piezoeléctrica utilizando una onda de choque producida a través de un impulso de láser. Además de un método de producción posiblemente más práctico, el enfoque piezoeléctrico podría permitir el control de escala de tiempo más rápido. Sin embargo, una potencial desventaja frente a la piroelectricidad es la tensión repetida inducida sobre el cristal, que eventualmente puede conducir a grietas o fractura del material de cristal.

10 La superficie de la cara de emisión del cristal 14 está cubierta con una película conductora 18, típicamente una capa metálica delgada de oro o platino. El espesor de esta película es suficiente para proporcionar una capa de conducción robusta y está preferiblemente entre 50 nm y 300 nm. La película se puede depositar a través de evaporación o pulverización catódica, seguida de pulido; se puede utilizar una capa de "humectación" (por ejemplo, 5 nm de cromo o de titanio) para dar una buena adherencia entre el cristal 14 y la película o capa de metal 18. En otra forma de realización, los emisores están en la capa metálica como se ve en la FIGURA 4.

15 A medida que la carga superficial piroeléctrica no compensada en la región cercana a la punta emisora del emisor 16 se agota a través de la emisión de electrones, la carga adicional producida en las regiones más distantes de la superficie de emisión será conducida a través de la capa metálica 18 y contribuirá a la emisión. La capa metálica 18, por tanto, actúa como un medio para conducir la carga superficial.

20 En todos los casos, el mecanismo de funcionamiento sigue siendo el mismo. Cuando se realiza un ciclo lento en la temperatura del cristal (se calienta y enfría de forma alternativa en una escala de tiempo de varios minutos o se aplica tensión mecánica durante un tiempo), se produce la polarización de carga espontánea en el cristal 14, haciendo que aparezca un campo eléctrico perpendicular en sus caras superior e inferior. En la superficie expuesta del cristal, el campo se puede aumentar mediante los picos o crestas afilados de emisores de campo 16 producidos por micromecanizado, que conduce a la emisión de campo de electrones desde ese lugar. Los electrones de superficie producidos en otros lugares de la cara del cristal se pueden conducir a través de la película metálica hasta la región emisora, proporcionando con ello un suministro casi continuo de carga para la emisión de campo.

25 Los emisores 16 de electrones de campo se forman preferiblemente en la superficie del cristal 14 después de la aplicación de la capa de metal conductor 18 a la superficie del cristal 14. Hay una serie de posibles métodos para agregar a la estructura rasgos de punta afilada que servirán como un emisor de campo. En una forma de realización, se retira una porción de escala micrométrica de la superficie metálica 18 de la cara de cristal 14 utilizando técnicas de micromecanizado, tales como fresado por haz de iones enfocado. A pesar de que sólo se requieren niveles intermedios de aumento de campo, es deseable fabricar las puntas con parámetros compatibles. Por lo tanto, se prefieren las técnicas de modelado litográfico y ataque químico al fresado con iones y tecnologías relacionadas para producir una punta cilíndrica cónica en algunas formas de realización. En otra forma de realización, como se muestra en la FIGURA 4, las puntas emisoras están formadas dentro de la capa metálica 18 por encima del cristal 14.

30 Como el campo de superficie cerca de una punta aumenta fuertemente al disminuir el radio de la punta, es ventajoso fabricar puntas que sean puntiagudas. Se prefiere que la fabricación de una punta única puntiaguda y cilíndricamente simétrica mediante fresado de una canaleta dentro del material de cristal, producirá radios de punta del orden de aproximadamente 1 μm o menos.

35 Alternativamente, fresar dos o más zanjas paralelas separadas unas pocas micras puede crear una larga cresta afilada entre las dos zanjas que es mucho más puntiaguda que la punta cilíndrica y conduce a una emisión mejorada mayor y más fiable. La longitud de las zanjas generalmente paralelas es de entre unas 5 μm y 35 μm . Aunque se prefiere este intervalo, se pueden utilizar otras longitudes.

40 A modo de ejemplo adicional, en la FIGURA 6 algunos se muestran perfiles de superficie en sección transversal típicos de formas de realización ilustrativas de puntas emisoras piramidal o en cuña. Los perfiles tienen generalmente una relación de aspecto de altura a anchura mayor que 1; son generalmente de forma piramidal o en forma de cuña; y tienen paredes laterales con ángulos de 45 grados o más. En la FIGURA 7 y la FIGURA 8. se muestran imágenes de microscopio electrónico de exploración (SEM) de dos configuraciones de emisores individuales.

45 Existen otros métodos para retirar el metal y crear un emisor que se pueden utilizar además del fresado con iones. En un método, se traza un patrón en el metal usando un material fotorresistivo, que luego es tratado con luz (litografía) y atacado químicamente para crear una región emisora de bordes afilados. También se puede adjuntar puntos o puntas emisoras (por ejemplo, una región que contiene muchos nanotubos de carbono) a una región de

tamaño micrométrico de la superficie cubierta de metal. También existen tecnologías de fabricación adicionales que puede aplicar un experto en la materia para fabricar los patrones de emisor.

En la FIGURA 3 se muestra una forma de realización alternativa 30 de la parte emisora del panel. Después de formar la estructura emisora mediante la exposición y la excavación del cristal 14 a través de la capa de metal 18, se aplica una segunda capa de metal 32. La segunda capa de metal 32 está preferiblemente aplicada de manera uniforme sobre la primera capa de metal 18 y la estructura emisora excavada expuesta. En otra forma de realización, se excluye la capa de metal 18 y se aplica sólo una única capa de metal sobre el cristal desnudo y las estructuras emisoras excavadas.

La segunda capa de metal 32 puede estar compuesta del mismo metal que la primera capa de metal 18 o puede estar compuesta de un material diferente. El espesor de la segunda capa 32 oscila preferiblemente desde aproximadamente 50 nm a aproximadamente 300 nm.

En la forma de realización 40 mostrada en la FIGURA 4, el cristal 14 está recubierto con la capa de metal conductor 18, pero el emisor no es directamente parte del cristal; más bien, el emisor está formado en la superficie de la capa de metal 18. Las estructuras emisoras 42 tienen preferiblemente picos o crestas afilados que son generalmente piramidales o en forma de cuña y tienen una relación de aspecto de altura a anchura mayor que uno y tienen paredes laterales con ángulos de 45 grados o más. En esta forma de realización, el espacio de separación 28 está determinado por la distancia desde la punta del emisor 42 al blanco 20 y se pueden utilizar espaciadores para mantener la posición y sellar el espacio de separación 28.

Los paneles que se muestran en las FIGURA 2 a FIGURA 4 se puede colocar sobre un soporte rígido o flexible 44 para formar una matriz. La matriz se puede colocar en un alojamiento, como se muestra, por ejemplo, en las FIGURA 9 y FIGURA 10.

Aunque en las FIGURA 1 a FIGURA 4 se muestra un único emisor por simplicidad, se comprenderá que muchos emisores de campo están formados típicamente dentro de la superficie del cristal en redes o agrupaciones u otros patrones. El número de emisores formados en el cristal o en la capa de metal se puede optimizar para una aplicación o sistema particular.

En referencia también a la FIGURA 5, los electrones emitidos desde la punta 46 del emisor 16 en la superficie de cristal 14 son acelerados en el campo 48 hacia un blanco 20 que convierte el impulso de electrones en rayos X a través de la radiación de frenado. El blanco 20 es preferiblemente una oblea o lámina de metal generalmente delgada hecha de materiales tales como tungsteno, cobre y molibdeno. También se pueden utilizar combinaciones de estos materiales para particularizar el espectro de emisión. El material específico del blanco 20 no altera la funcionalidad general del dispositivo.

La geometría del blanco 20 también se puede alterar. En la forma de realización preferida, el haz de electrones emitido es perpendicular (normal) a la superficie del blanco y la conversión se produce a través de la transmisión (es decir, los rayos X se recogen en el lado opuesto del blanco desde la ubicación del haz de electrones). En otra forma de realización, el blanco 20 puede estar orientado en ángulo con la trayectoria de los electrones, típicamente de aproximadamente 45 grados, y los rayos X se recogen en reflexión (es decir, los rayos X se recogen en el mismo lado del blanco que el punto de impacto del haz de electrones).

El espesor del blanco 20 se selecciona preferiblemente para producir la más alta eficiencia de conversión basada en la energía nominal de los electrones. Puesto que la energía los de electrones dependerá en parte de las características del material de cristal seleccionado, sus espesor y geometría, se deben elegir el espesor y el material del blanco para coincidir con las características de misión del cristal 14. En principio hay disponibles formulas analíticas y simulaciones en el campo para calcular el espesor óptimo de un blanco. En la práctica, a menudo se seleccionan las características del blanco en función de la experiencia pasada y mediciones de laboratorio. Por ejemplo, a menudo se emplea un blanco de tungsteno de 10 micras de espesor en energías de interés aquí (20-100 KV).

Otra consideración es la distancia 50 entre el emisor y el blanco. La distancia 50 que se requiere dentro del espacio de separación 28 se selecciona preferiblemente de modo que no se produzca ruptura entre el campo generado en el cristal y el plano de tierra del blanco. En la práctica, esta distancia de separación 50 dependerá de los campos de superficie, el entorno en la separación 28, y la lisura de la superficie del blanco 20. Para un espacio de separación en condiciones de vacío y campos superficiales de hasta 50 KV, se puede requerir una distancia de separación de hasta 1 mm o más. Las dimensiones de la separación 28 y la distancia de la separación 50 entre la punta del emisor 46 y el blanco 20 se pueden ajustar con paredes laterales (no mostradas) o selladores adhesivos para encerrar el espacio de separación 28 y formar una distancia de separación 50 apropiada entre el emisor 46 y el blanco 20.

En el caso de un cristal delgado 14 separado una distancia apreciable del blanco 20 de ánodo, el campo generado es proporcional al producto del espesor 52 del cristal y al gradiente de temperatura. Puesto que estos materiales son

típicamente malos conductores térmicos, el espesor del cristal 14 juega un papel importante en el gradiente de temperatura alcanzable a lo largo de una escala de tiempo relevante.

5 Los modelos simples de generación de campo que utilizan parámetros medidos conocidos en el estado de la técnica son capaces de adaptarse a las condiciones observadas. Como ejemplo, se sabe que en una geometría plana ideal, el campo generado en un cristal de espesor d_{cr} y separado de un ánodo por una distancia de separación d_g , se puede expresar como

$$E_0 = \frac{-\gamma \delta T}{\epsilon_0 d_{cr} + \epsilon_{cr} d_g} d_{cr}$$

10 donde δT es el gradiente de temperatura desde la parte inferior a la parte superior del cristal, y ϵ_{cr} (ϵ_0) es la constante dieléctrica del cristal (espacio libre). El coeficiente piroeléctrico γ se puede obtener empíricamente.

15 Una configuración típica de emisor piroeléctrico utilizando niobato de litio, por ejemplo, tiene un coeficiente piroeléctrico γ de $-8.3 \times 10^{-5} \text{C}/\text{C}/\text{m}^2$, un espesor de cristal d_{cr} de aproximadamente 1 mm; una distancia de separación d_g de cristal a ánodo de aproximadamente 1 mm; un gradiente de temperatura desde la parte inferior a la parte superior del cristal δT de 10°C y la constante dieléctrica relativa ϵ_{cr}/ϵ_0 de alrededor de 31. El campo generado (utilizando la ecuación anterior) es aproximadamente 30 kV. Una distancia de separación 50 mayor o un gradiente de temperatura mayor producirían un campo superior.

20 El ciclo de temperatura del cristal 14 con el dispositivo de control de la temperatura 12 también se puede optimizar con la configuración del módulo seleccionado. La velocidad de aumento de la temperatura y el enfriamiento se pueden monitorizar y controlar para proporcionar un haz uniforme continuo de electrones emitidos desde el cabezal emisor con energía maximizada. En una forma de realización, por ejemplo, se utilizan ciclos de temperatura entre 5°C y 30°C por encima de la temperatura ambiente con un gradiente de 4°C aproximadamente a 6°C por minuto. Las emisiones de electrones pueden tener lugar durante el calentamiento o el enfriamiento del cristal 14, dependiendo de la orientación del plano del cristal. Las velocidades de cambio de temperatura en el cristal 14 se pueden correlacionar con el número y el diseño de los emisores 16 y las características de los rayos X resultantes.

25 El espacio de separación 50 está preferiblemente bajo vacío y sellado de modo que se mantiene una atmósfera de baja presión o de vacío dentro del panel. La presión dentro del espacio de separación 28 se mantiene preferiblemente dentro de la gama de UHV mejor que 10^{-6} Torr. Aunque se prefiere este intervalo de presiones, se puede utilizar cualquier presión que no enmascare sustancialmente los efectos piroeléctricos o piezoeléctricos.

30 En algunas configuraciones se pueden emplear gases tales como hexafluoruro de azufre (SF6), un medio de extinción de arco para limitar las descargas disruptivas, o simplemente nitrógeno seco en lugar del vacío o pueden utilizarse como un gas de balasto que reemplaza el aire residual, en una forma de realización. Los gases de balasto se diluyen preferiblemente para mantener una atmósfera de baja presión, con poco oxígeno, dentro del espacio de separación 28 y el panel.

35 Haciendo referencia de nuevo a las FIGURA 2 a FIGURA 4, se pueden usar opcionalmente filtros espaciales y espectrales con la capa 20 del blanco de la fuente de rayos X. En la forma de realización mostrada, el filtro espectral 22 está aplicado directamente a la capa de blanco 20 y puede estar compuesto de una pluralidad de capas delgadas de metales. Esta pila de capas que forman el filtro 22 ayuda a conformar el espectro de rayos X para reducir la presencia de los rayos X de baja energía, por ejemplo. Aluminio, cobre y berilio son materiales de filtro comunes. También se pueden utilizar capas secundarias de metales de número atómico alto, tales como el tántalo o el hierro. En la práctica, los filtros espectrales 22 se seleccionan en base al uso final.

40 También se puede utilizar un filtro espacial 22 para aplanar el perfil de flujo de toda la matriz. El filtro espacial 22 puede compensar tanto la variación a través de un emisor como a través de una matriz de módulos emisores. La variación espacial a través de cada emisor se debe a la distribución inherente de electrones emitidos por una geometría específica de punta emisora envuelta con la emisión del blanco. Las desviaciones o imperfecciones de fabricación pueden causar variaciones en los diferentes emisores. En la práctica, el filtro espacial 22 sería un material con diseño micrométrico con una atenuación suficiente en los rayos X. Diversos materiales de alto número atómico serían adecuados. En todos los casos, los filtros 22 mejoran la funcionalidad del dispositivo, pero no alteran fundamentalmente el funcionamiento.

45 La colimación de fuentes de rayos X permite que un mayor porcentaje de fotones (el flujo) sea dirigido hacia la zona prevista. En fuentes convencionales de rayos X de fuente puntual (tales como tubos), la colimación puede servir para aumentar el flujo utilizable, y también sirve a menudo como un filtro espacial. En una fuente de panel plano de

acuerdo con la invención, o cualquier gran matriz de emisores, la colimación sirve adicionalmente para asegurar la emisión paralela de los rayos X utilizables. Para una fuente de punto, es deseable un haz de forma de "cono". Sin embargo, en una fuente de matriz extendida, los rayos X deben ser colimados en "rayos" paralelos.

5 Hay una variedad de enfoques que se pueden utilizar para la colimación de los rayos X producidos. En general, se pueden considerar dos tipos de colimadores 24 opcionales. El primer tipo de colimador 24 es el uso de la óptica sin imagenología que dirige los rayos X a través de una serie de reflexiones a lo largo de una estructura en forma de tubo. En una forma de realización, un tubo metálico puede servir como un colimador 24 sin imagenología. También se pueden utilizar formas más eficientes, tales como el cono de Winston, para mejorar la eficiencia de colimación.

10 La segunda categoría de colimador 24 es la óptica de refracción o de formación de imagen, tales como lentes. Se pueden crear lentes de rayos X configuradas en matrices de lentes, a menudo llamadas lentillas, con diversos metales bajo número atómico, tales como litio, berilio y aluminio. Para cada categoría de colimador 24, se consigue la máxima eficiencia cuando cada elemento de colimación está alineado con cada emisor en la matriz.

15 La mejora de campo de los módulos del dispositivo está influenciada, en parte, por el diseño del emisor de campo 16 y la configuración de la pluralidad de las puntas emisoras 46. En la FIGURA 6 se muestran diversas configuraciones posibles de emisor 16 en sección transversal. En la FIGURA 7 se muestra una micrografía SEM de una forma de realización de una punta emisora 46 cilíndrica que se estrecha cónicamente y en la FIGURA 8 se muestra una micrografía de una forma de realización de una configuración de punta emisora en forma de cuña.

20 Las dimensiones de la punta emisora se pueden optimizar para producir un haz de electrones preferiblemente continuo hacia el blanco 20. Por ejemplo, el nivel de mejora de campo para un emisor 46 largo y estrecho es inversamente proporcional al radio de la punta, y proporcional a la longitud del elemento emisor. El campo creado por un emisor en forma de aguja puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$E_{tip} = E_0 \frac{a^2}{b^2} \frac{\eta^3}{\arctan(\eta) - \eta},$$

30 donde E_0 es el campo aplicado, a es la longitud del emisor, b es el diámetro en la base del emisor, y

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

es un parámetro geométrico conveniente. El radio de la punta estaría dado por la expresión: $r_{tip} = b^2/a$.

35 El nivel de mejora de campo requerido es una función del material de la punta y del campo aplicado. Para los casos de interés aquí, con campos en el intervalo de 10 a 100 kV sobre espacios de separación de mm-cm, las mejoras de campo están en el intervalo de 100 a 1.000, suponiendo puntas metálicas. Cabe señalar que estos niveles requeridos de mejora de campo son bastante modestos, especialmente en comparación con los niveles de TV de plasma y de nanotubos de carbono.

40 Las puntas 46 del cuerpo emisor cilíndrico o piramidal o el borde delantero de la cuña formada por zanjas paralelas, se pueden recubrir con un material que limite la erosión del borde delgado o punta durante el uso, y que no interfiera con la emisión de electrones durante su uso. En una forma de realización mostrada en la FIGURA 6, la punta 46 tiene una o más proyecciones de metal, que sirven como punto de emisión, para aumentar el campo. En otra forma de realización, la punta 46 del emisor está por encima del nivel de la superficie plana del cristal y la capa de metal 18. Los diseños de emisores de la FIGURA 6 se pueden asociar con tipos de cristal, gradientes de temperatura, dimensiones de los componentes, energías de electrones producidos y similares, para optimizar un módulo o una matriz de módulos para fines específicos.

45 Se verá que los módulos mostrados en las FIGURA 1 a FIGURA 4 se pueden construir sobre "placas" desechables de baja tensión que sean independientes y se puedan organizar en una matriz direccionable. Los módulos pueden generar rayos X de diagnóstico sin la necesidad de tubos de vacío frágiles y voluminosos, electrónica de potencia cara y materiales radiactivos.

50 Los rayos X paralelos se pueden generar de manera uniforme a través un panel plano con una pequeña huella, que sea ligero y portátil y alimentado por batería. Los sistemas basados en una emisión paralela plana (no disponible a partir de los actuales sistemas de rayos X comerciales) se pueden desplegar en lugares distantes y aplicarse en

circunstancias en que las imágenes de rayos X no están disponibles para su uso. Además, el uso de una matriz direccionable crea la oportunidad de ser selectivo en las zonas en que las que se aplican los rayos X a un paciente.

5 También se pueden idear sistemas que proporcionen plataformas de imagenología que sean más pequeñas, más ligeras y menos caras de operar que las usadas convencionalmente en el estado de la técnica. Por ejemplo, el dispositivo podría utilizarse en una Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) o en una Sala de Emergencias (ER) ahorrando al paciente un viaje innecesario a la sala de radiología, y quizás también en el punto de la lesión para confirmar la intubación o si el pulmón del paciente ha colapsado.

10 Con referencia ahora a las FIGURA 9 y FIGURA 10, se muestra una forma de realización general de un sistema de imagenología 60. En esta ilustración, los módulos están organizados en una matriz de panel plano rígido 62 en un alojamiento duradero apantallado 64 que contiene una unidad de control 66 con sensores de temperatura y de rayos X, y un sistema de posicionamiento 72.

15 El panel 62 de módulos integrados proporciona una matriz direccionable de fuentes que producen rayos X paralelos desde la cara del dispositivo y controlados por un controlador preferiblemente programable 66.

20 Durante su uso, la matriz 60 se puede colocar debajo o encima de una zona de un paciente de la que se necesita formar una imagen. Un generador de imágenes 74 se coloca enfrente de la matriz 60. El generador de imágenes 74 puede ser un generador de imágenes digital o puede contener una película de rayos X convencional. El sujeto se sitúa dentro del espacio 76 entre la matriz 60 y el generador de imágenes 74. En la forma de realización mostrada, un sistema de posicionamiento 72 indica la alineación apropiada de la matriz 60 y el generador de imágenes 74.

25 Un actuador a distancia 68 con disparador 70 envía una señal 78 al controlador 66 para iniciar las emisiones de rayos X para obtener imágenes. En la forma de realización mostrada en la FIGURA 9 y la Figura 10, el actuador a distancia 68 también se une de manera reversible al alojamiento 64 y sirve como asa para el transporte de la matriz 60.

30 El tamaño compacto (menos de 1 pie cúbico o 0.0283 m cúbicos) y el peso (menos de 10 kg) del sistema de imagenología lleva a aplicaciones que requieren facilidad de transporte, flexibilidad, velocidad y/o bajo costo. El tamaño funcional total y el peso del sistema de imagenología 60 puede ser un orden de magnitud más pequeño que cualquier dispositivo de rayos X de alta energía comparable. Si está montado en un alojamiento reforzado 64, el generador de imágenes 60 puede transportarse fácilmente como parte de un paquete médico. No se necesita tensión alta externa, lo que hace posible la operación de campo con alimentación por batería.

35 El dispositivo de matriz 60 se puede adaptar para su uso con una variedad de aplicaciones comerciales. Estas aplicaciones incluyen, pero no se limitan a, unidades de campo para operaciones militares y atención médica básica en regiones distantes o subdesarrolladas, y emergencias. Existen muchas configuraciones posibles, incluyendo un dispositivo desechable de generación de imágenes de rayos X utilizando película de tipo Polaroid, o un dispositivo del tamaño de un palmo de mano usando una cámara digital. Un dispositivo médico basado en una de las variantes del dispositivo podría permitir a los servicios de emergencias producir radiografías de rayos X, incluyendo dispositivos digitales habilitados para la telemedicina.

40 El método de uso también dependería de la configuración de la fuente (punto, línea, o panel plano). Una fuente puntual es la más compacta, y tiene la densidad de energía más alta. Una fuente barra o línea podría "rodar" sobre el área a explorar, mientras que una matriz (panel plano) permitiría una iluminación igual del área de la lesión, dando proyecciones plano-paralelas verdaderas para facilitar la localización de lesiones o metralla. Las matrices de panel plano también pueden ser direccionables (con píxeles activados selectivamente), y una unidad de control podría realizar una forma de reconstrucción tomográfica en 2D escaneando a través de cada píxel y obteniendo una imagen completa de cada punto de fuente.

45 La invención se puede entender mejor con referencia a los ejemplos adjuntos, que se proporcionan con fines de ilustración solamente y no deben ser interpretados en el sentido de limitar el alcance de la presente invención como tal como se define en las reivindicaciones adjuntas a la presente memoria.

55 Ejemplo 1

60 Con el fin de demostrar la funcionalidad del aparato, se produjeron y evaluaron cristales piroeléctricos con una variedad de configuraciones de punta emisora de campo de acuerdo con la invención. Los resultados experimentales anteriores en la emisión piroeléctrica de electrones desde cristales de niobato de litio (LiNbC_3) han demostrado que tanto las características cualitativas como cuantitativas de la emisión dependen en gran medida de la geometría detallada del experimento, incluyendo la cámara de vacío, la configuración de ánodo, y forma y tamaño del cristal. Dependiendo de la presión del gas ambiente, la velocidad de cambio de temperatura, y la distancia del ánodo, se pueden producir corrientes a través de emisión de campo, formación de plasma superficial, o ionización del gas; se ha informado de corrientes de picoamperios a nanoamperios, en escalas de tiempo de unos pocos

minutos a unas pocas horas. Por lo tanto, los cristales de niobato de litio (LiNbO_3) son un buen ejemplo de un aparato para la producción de rayos X de acuerdo con la invención.

5 Se realizó una primera serie de pruebas experimentales utilizando una oblea de 1 cm x 1 cm de LiNbO_3 , de 500 μm de espesor. La oblea fue se cortó de forma transversal, con las caras Z a lo largo de los bordes estrechos. Uno de los bordes estrechos se revistió con una capa de oro, que después se eliminó mediante fresado (usando una máquina de haz de iones enfocado) a lo largo una de tira estrecha (10 μm x 100 μm) en el centro, exponiendo el cristal y, opcionalmente, creando de una o más puntas afiladas. Las características de agudeza de la superficie no se pudieron medir directamente, pero se cree que estaban muy por debajo de un radio de curvatura de 1 μm . A
10 continuación, se colocó la oblea en un banco de pruebas en el que los electrones emitidos formaron imagen en una pantalla de centelleo mientras que se controlaba la temperatura de la oblea desde el lado usando un elemento Peltier adyacente al cristal, mientras se medía la temperatura en el lado opuesto del cristal. Se mantuvo una presión de vacío de aproximadamente $1,0 \times 10^{-5}$ Torr durante cada uno de los ciclos de ensayo.

15 Se utilizaron varios métodos diferentes para la deposición del oro sobre la superficie superior de los cristales, incluyendo pulverización catódica y evaporación, con espesores que varían desde 20 - 30 nm a 175 nm.

20 Se ensayaron una variedad de configuraciones de punta (tal como las geometrías de sección transversal "plana" y "puntiaguda" de la FIGURA 6), con velocidades más o menos apropiadas de cambio de temperatura, seguido por un procesamiento posterior fotograma a fotograma de las imágenes de vídeo resultantes. Se hizo la conjetura de que la emisión de corriente se limitaría a la región fresada pero aumentada por la presencia de la capa de oro, lo que podría permitir migrar a los electrones de la superficie.

25 Se observó con éxito una emisión de electrones desde tres cristales delgados durante el calentamiento o enfriamiento, con resultados que dependían claramente de la geometría de la punta emisoras. En estos ensayos, se varió la temperatura entre 5 ° C y 35 ° C por encima de la temperatura ambiente, y se cambió a una velocidad de 4-6 °C/min. La emisión desde las configuraciones de punta produjo una corriente constante lentamente decreciente combinada con varios "flashes" (eventos de descarga fuera de control) durante el enfriamiento. Dos secciones transversales de punta diferentes produjeron emisiones. Una punta estaba formada como una pared delgada en
30 forma de cuña entre dos canales fresados en la superficie del cristal. En una segunda punta, que tiene una pared en forma de cuña similar entre los dos canales, se formó un borde de metal sobre la superficie biselada superior de la pared. En ambos casos, existían crestas afiladas en una gran parte del emisor.

35 A modo de comparación, se fabricó un emisor que tenía una región central fresada con un fondo plano (sin puntas ni crestas). Esta geometría no produjo ninguna corriente detectable. El aumento del campo debido a los cantos afilados o puntas por lo tanto hace una contribución necesaria para la emisión piroeléctrica de electrones.

40 La variación en la intensidad de las emisiones de electrones mostrada entre ciclos defuncionamiento sugirió que el mecanismo de emisión primaria observada fue de ionización de gas en el vacío relativamente pobre, con el plasma de baja densidad resultante soportando una corriente constante entre el cristal y el ánodo durante períodos de al menos 2 a 5 minutos. Aunque las puntas contribuyeron claramente a la formación de un campo eléctrico ionizante, la emisión desde la superficie puede no haber hecho una contribución significativa a la corriente constante (aunque eventos aislados de ruptura de superficie llevaron a descargas disruptivas individuales de la corriente en el detector).
45 En consecuencia, los campos fuertes pueden llevar a corriente en el ánodo por emisión de campo desde la superficie o descargas disruptivas de plasma superficial o corriente de plasma después de la ionización del gas residual cercano.

50 Una segunda serie de pruebas se llevó a cabo con un grupo de cristales más gruesos. La segunda configuración era un cilindro de LiNbO_3 con una altura 1 cm y diámetro de 7,6 cm, cortado de tal manera que las superficies planas eran las caras Z del cristal. Al igual que con el cristal delgado, se fresaron varias puntas emisoras (en este caso con una relación de aspecto de 1:1) en la superficie de la cara del cristal. Las puntas se re-metalizaron después del fresado de las zanjas. El radio de curvatura de la punta se midió, siendo aproximadamente 1 μm . El cristal se colocó encima de una placa delgada de cobre y se calentó desde abajo, monitorizando la temperatura a través de termistores. Se formó imagen en una pantalla de escintilación con una cámara CCD. Los ensayos con cristales
55 grandes se llevaron a cabo bajo una presión de vacío de $1,0 - 5,0 \times 10^{-5}$ Torr.

60 Se mostró que las características superficiales puntiagudas pueden mejorar la emisión piroeléctrica desde cristales de niobato de litio, dando lugar a una corriente persistente y estable durante varios minutos. El aumento del campo mediante puntas afiladas se ha demostrado que contribuyen directamente a la emisión de electrones desde el cristal. Los cristales piroeléctricos mejorados de esta manera tienen el potencial de servir como fuentes de miniaturas de haces de electrones adecuadas para los dispositivos de aceleración a escala micrométrica o los cristales fuente de radiación industrial o médica mejorados de esta manera tienen el potencial de servir como fuentes de miniaturas de haces de electrones adecuadas para dispositivos de aceleración de escala micrométrica o fuentes de radiación industrial o médica.

5 Aunque la descripción anterior contiene muchos detalles, estos no deben interpretarse como limitantes del alcance de la invención, sino como que meramente proporcionan ilustraciones de algunas de las formas de realización actualmente preferidas de esta invención. Por lo tanto, se apreciará que el alcance de la presente invención está por consiguiente limitado por nada más que las reivindicaciones adjuntas, en las que la referencia a un elemento en singular no pretende significar "uno y sólo uno", a menos que así se establezca de forma explícita, sino más bien "uno o más". Además, no es necesario que un dispositivo o método se refiera a todos y cada uno de los problemas que se pretenden resolver mediante la presente invención, para que pueda estar incluido en las presentes reivindicaciones. Por otra parte, ningún elemento, componente o etapa de procedimiento en la presente descripción
10 pretende estar dedicado al público con independencia de si el elemento, componente o etapa de procedimiento está explícitamente citado en las reivindicaciones

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (10), que comprende:
 - 5 un cristal (14) que tiene una superficie superior, siendo dicho cristal (14) un cristal piroeléctrico o un cristal piezoeléctrico;
 - una película conductora (18) que recubre la superficie superior del cristal (14);
 - incluyendo dicho cristal (14) una pluralidad de emisores (16) de campo de electrones, comprendiendo los
 - 10 emisores (16) de campo de electrones una región de escala micrométrica, teniendo la región uno o más picos o crestas afilados; y
 - medios (12) para controlar la temperatura del cristal (14) cuando dicho cristal (14) es un cristal piroeléctrico, o
 - medios para controlar la tensión mecánica en el cristal cuando dicho cristal es un cristal piezoeléctrico,
 - en el que dicho cristal (14) y dichos emisores (16) de campo de electrones se mantiene en un entorno de baja presión.
- 15 2. Un aparato (10) según la reivindicación 1, en el que cada emisor (16) de campo de electrones comprende un patrón grabado por ataque químico en el cristal (14).
- 20 3. Un aparato (10) según la reivindicación 1 ó 2, en el que cada emisor de campo de electrones comprende, además, una capa de nanotubos en dicha región de dicho emisor de campo de electrones.
4. Un aparato (10) según la reivindicación 1, 2 ó 3, en el que cada emisor (16) de campo de electrones comprende además:
 - 25 una segunda película conductora (32) que recubre la película conductora (18) y las regiones de escala micrométrica del cristal (14).
5. Un aparato (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además:
 - 30 un blanco (20), estando dicho blanco (20) dispuesto en la proximidad de dicha pluralidad de emisores (16) de campo de electrones;
 - en el que los electrones emitidos desde dichos emisores (16) inciden sobre dicho blanco (20) para producir rayos X.
- 35 6. Un aparato (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores:
 - en el que los picos o crestas afilados tienen una relación de aspecto de altura a anchura mayor que uno;
 - en el que los picos o crestas afilados son generalmente de forma piramidal o de cuña; y
 - 40 en el que los picos o crestas afilados tienen paredes laterales con ángulos de 45 grados o más.
7. Un aparato según la reivindicación 1, que además comprende:
 - un alojamiento modular;
 - 45 una segunda película conductora (32) que recubre dicho cristal (14) y dichos emisores (16) de campo de electrones; y
 - un blanco (20), dispuesto en la proximidad de dicha pluralidad de emisores (16) de campo de electrones;
 - en el que los electrones emitidos desde dichos emisores (16) de campo de electrones inciden sobre dicho blanco (20) para producir rayos X.
 - 50 en el que dicho cristal (14) y dichos emisores (16) de campo de electrones se mantienen en dicho entorno de baja presión dentro de dicho alojamiento modular.
8. Un aparato (10) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 ó 7, en el que el cristal (14) es un cristal de niobato de litio, un cristal de tantalato de litio, un cristal de titanato de bario o un cristal de sulfato de triglicina.
- 55 9. Un aparato (10) según la reivindicación 7, en el que dicho blanco comprende:
 - una lámina de metal capaz de convertir un impulso de electrones en rayos X a través de radiación de frenado (bremsstrahlung);
 - 60 un segundo cristal piroeléctrico o un segundo cristal piezoeléctrico, siendo dicho segundo cristal de polaridad opuesta al primer cristal, estando dicho segundo cristal acoplado a dicha lámina metálica; y
 - medios para controlar la temperatura del segundo cristal cuando dicho segundo cristal es un cristal piroeléctrico, o medios para controlar la tensión mecánica en el segundo cristal cuando dicho segundo cristal es un cristal piezoeléctrico;
 - 65 en el que es producido un segundo campo eléctrico por dicho segundo cristal.

10. Un aparato (10) según las reivindicaciones 5, 7 ó 9, que comprende además:
5 un filtro (22) de rayos X, estando dicho filtro (22) configurado para filtrar los rayos X que emanan de dicho blanco (20).
11. Un aparato (10) según las reivindicaciones 5, 7, 9 ó 10, que comprende además un colimador (24) de rayos x.
12. Un aparato según la reivindicaciones 7 ó 9, en el que dicho cristal (14) es un cristal piroeléctrico que además
10 comprende:
una matriz o conjunto ordenado direccionable de módulos (40);
un sustrato de soporte flexible (44) acoplado a dichos módulos (40); y
un controlador programable, estando dicho controlador configurado para controlar selectivamente dichos
15 medios para controlar la temperatura para calentar y enfriar los cristales (14) de cada módulo (40) en un período de tiempo tal que se produzca la polarización espontánea de carga en los cristales (14), provocando de ese modo que surja un campo eléctrico perpendicular en las caras superior e inferior del cristal (14);
en el que el campo eléctrico se aumenta mediante dichos picos o crestas afilados, lo que provoca la emisión de campo de electrones de superficie desde esa posición hacia dicho blanco (20) y convierte de este modo
20 impulsos de electrones de los emisores (42) de campo en rayos X.
13. Un aparato (30) según las reivindicaciones 7, 9 ó 12, en el que cada emisor de campo de electrones comprende un patrón de zanjas lineales paralelas excavadas en el cristal (14), que forman uno o más elementos en forma de cuña con picos afilados que tienen una relación de aspecto de altura a anchura mayor que uno.
- 25 14. Un aparato según las reivindicaciones 7, 9, 12 ó 13, en el que cada emisor de campo de electrones comprende un patrón de cavidades que tienen cada una, una columna central (46) que se estrecha progresivamente.
15. Un aparato según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, donde dicho cristal es un cristal piroeléctrico y dichos medios para controlar la temperatura comprende una unión de Peltier.
30

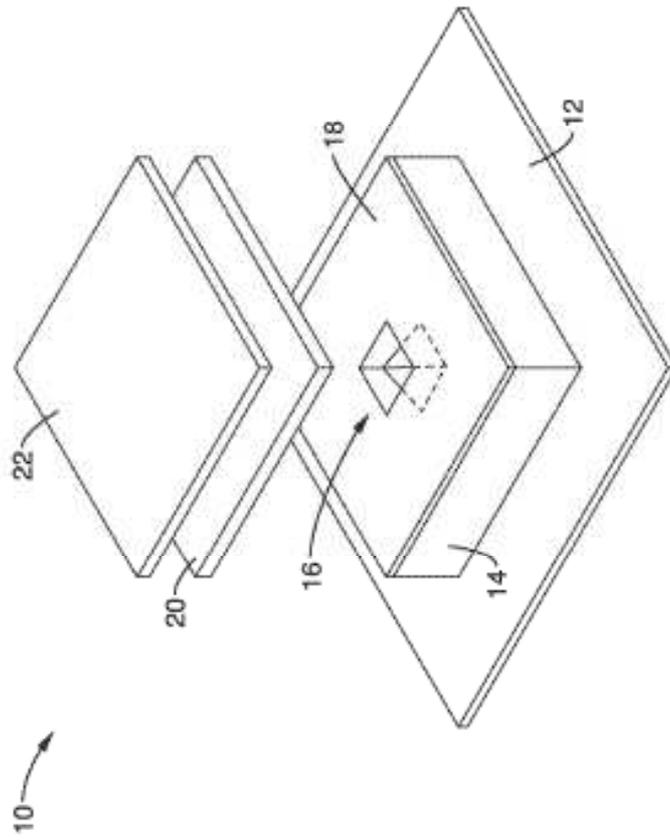


FIG. 1

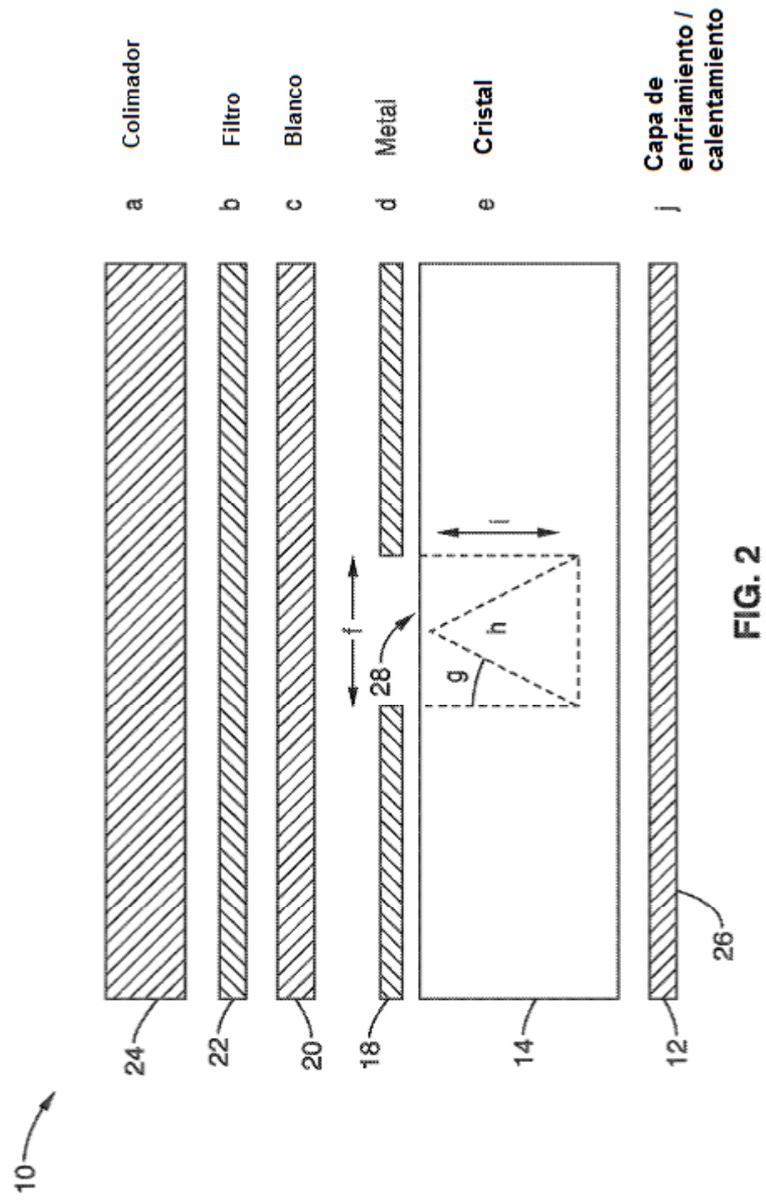


FIG. 2

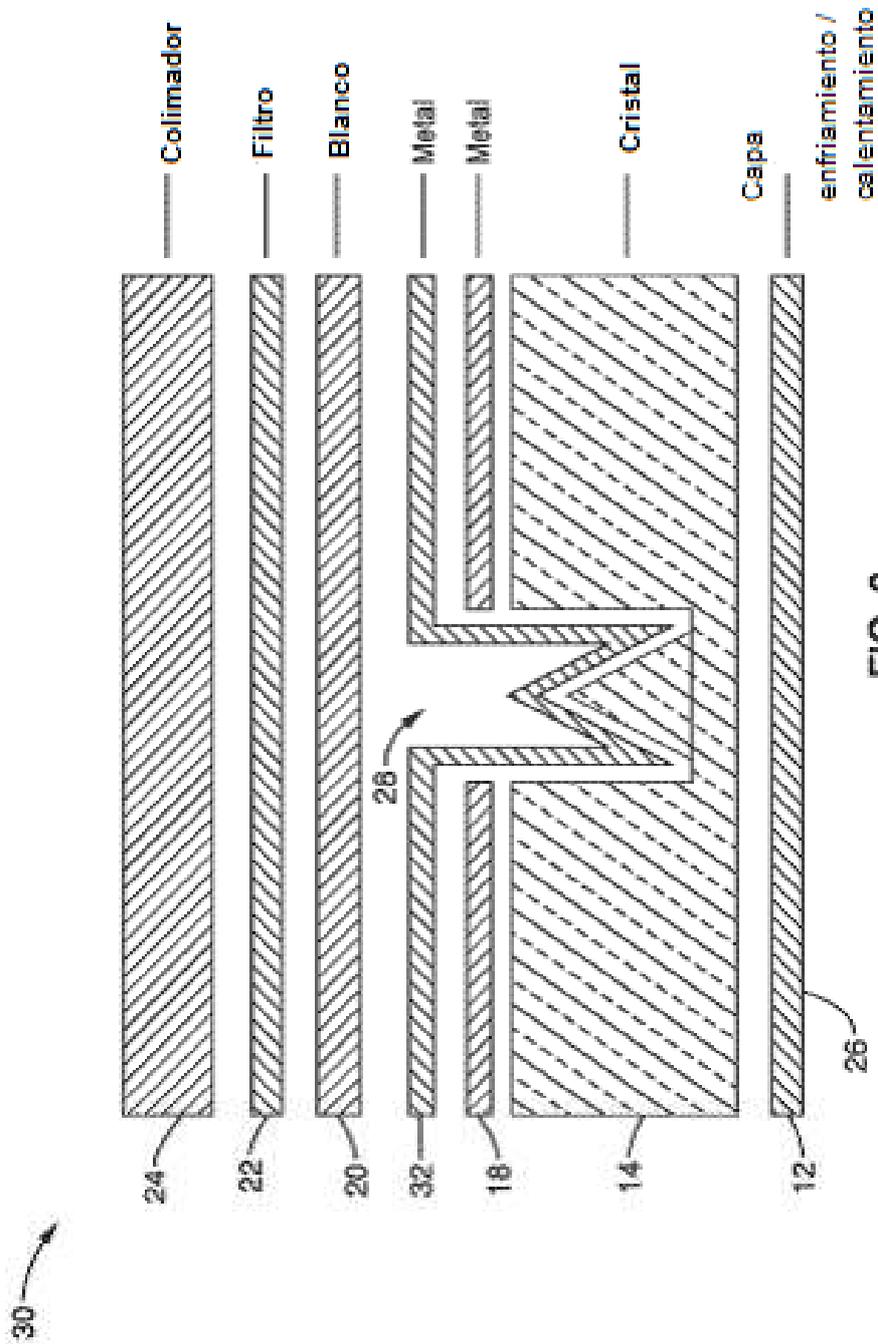


FIG. 3

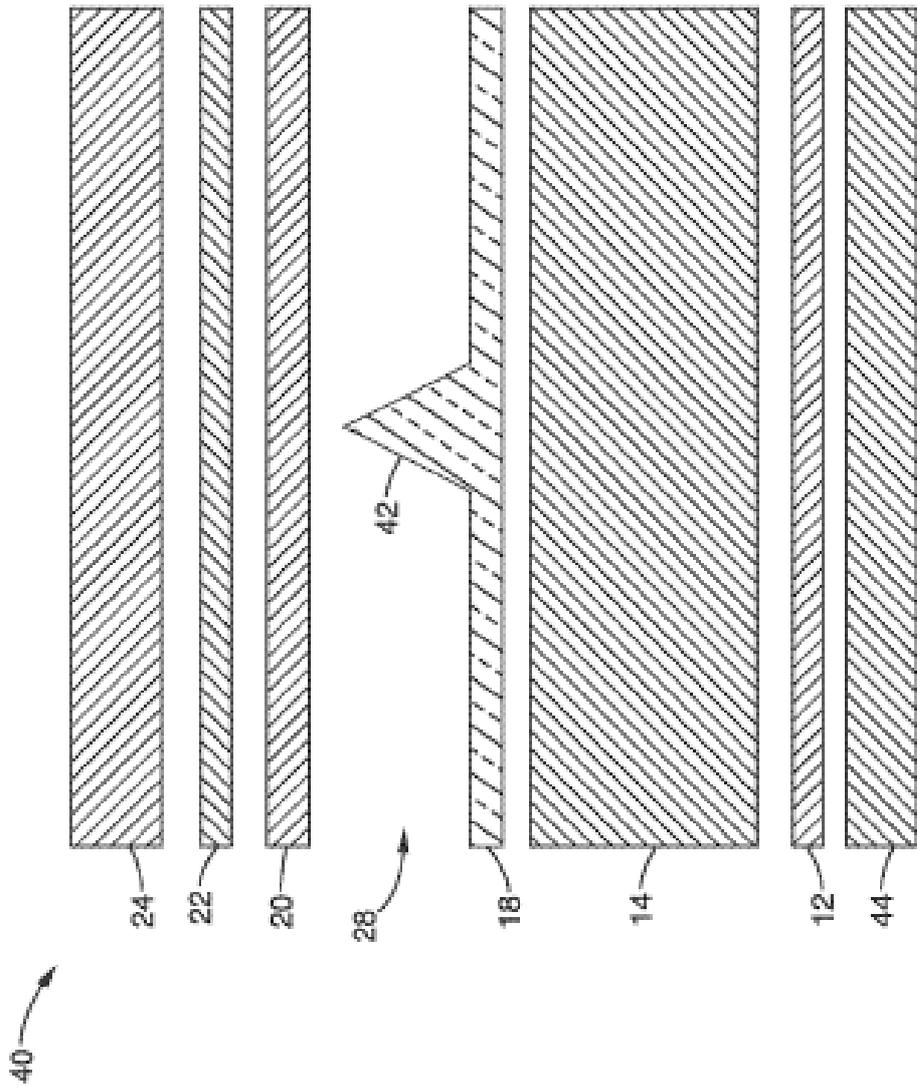


FIG. 4

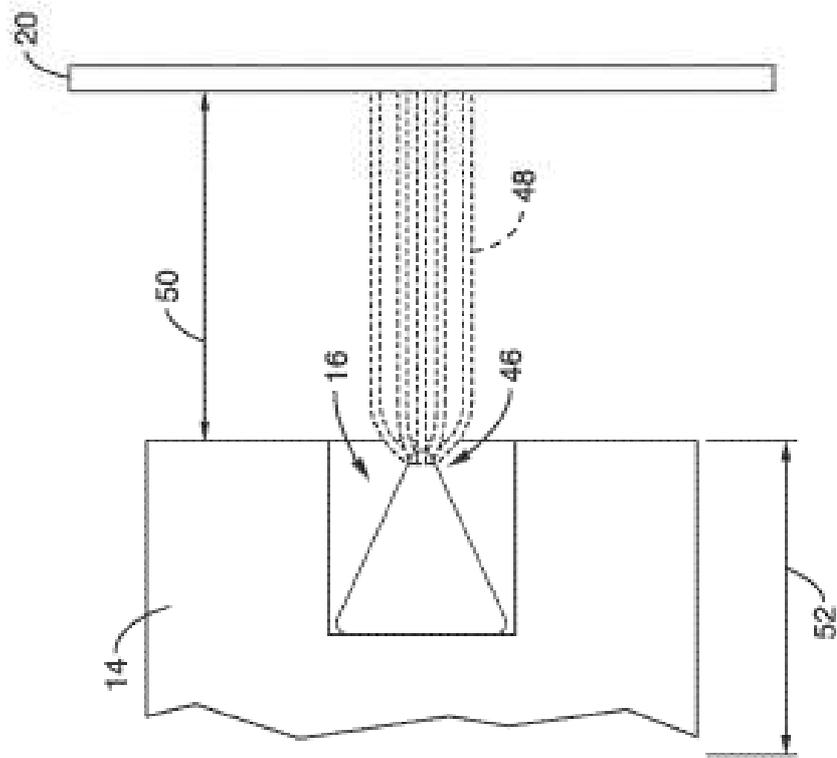


FIG. 5

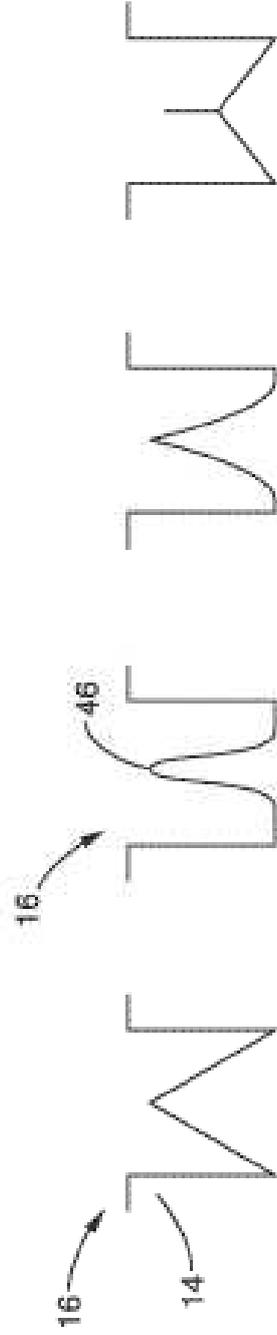


FIG. 6

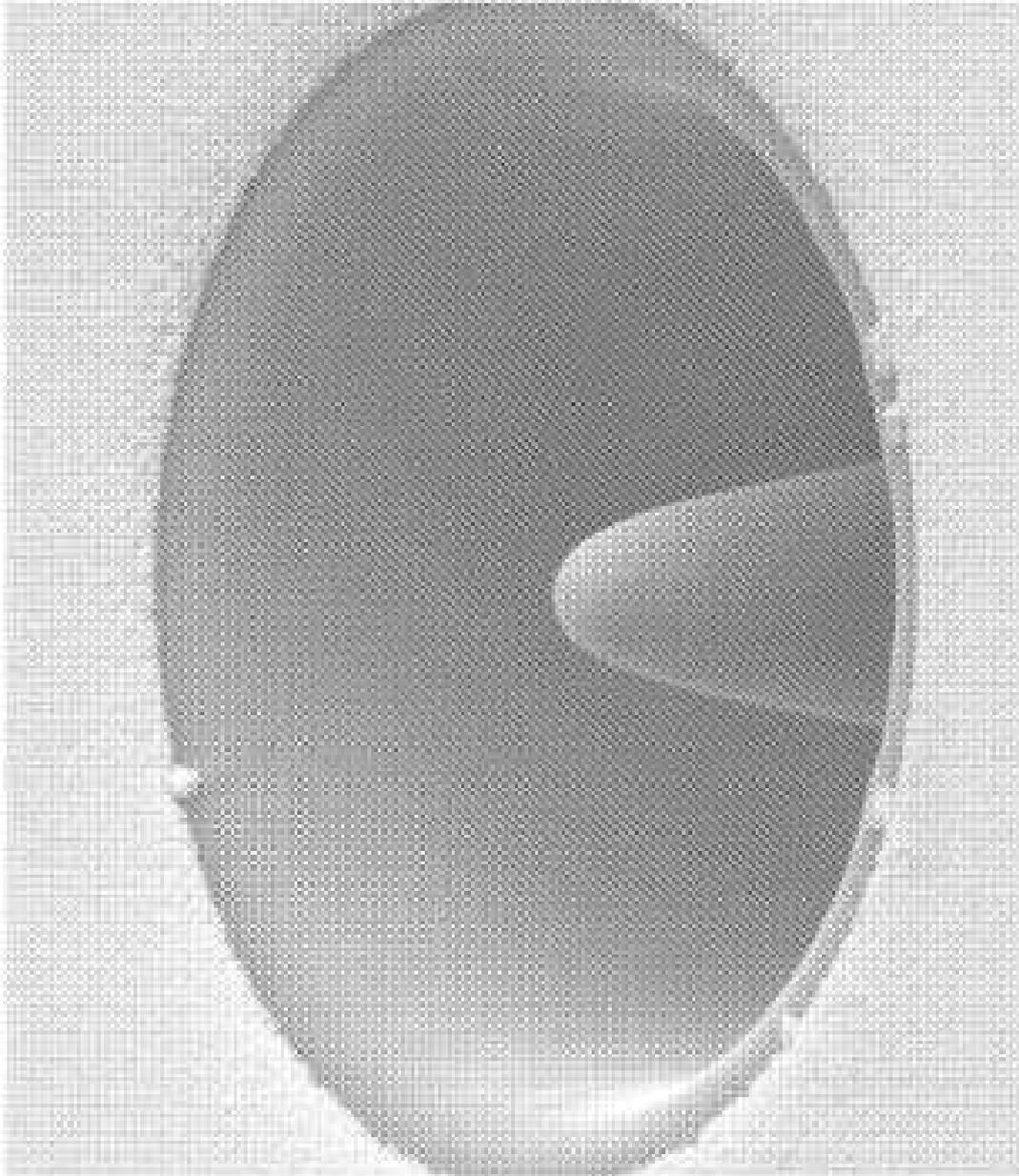


FIG. 7

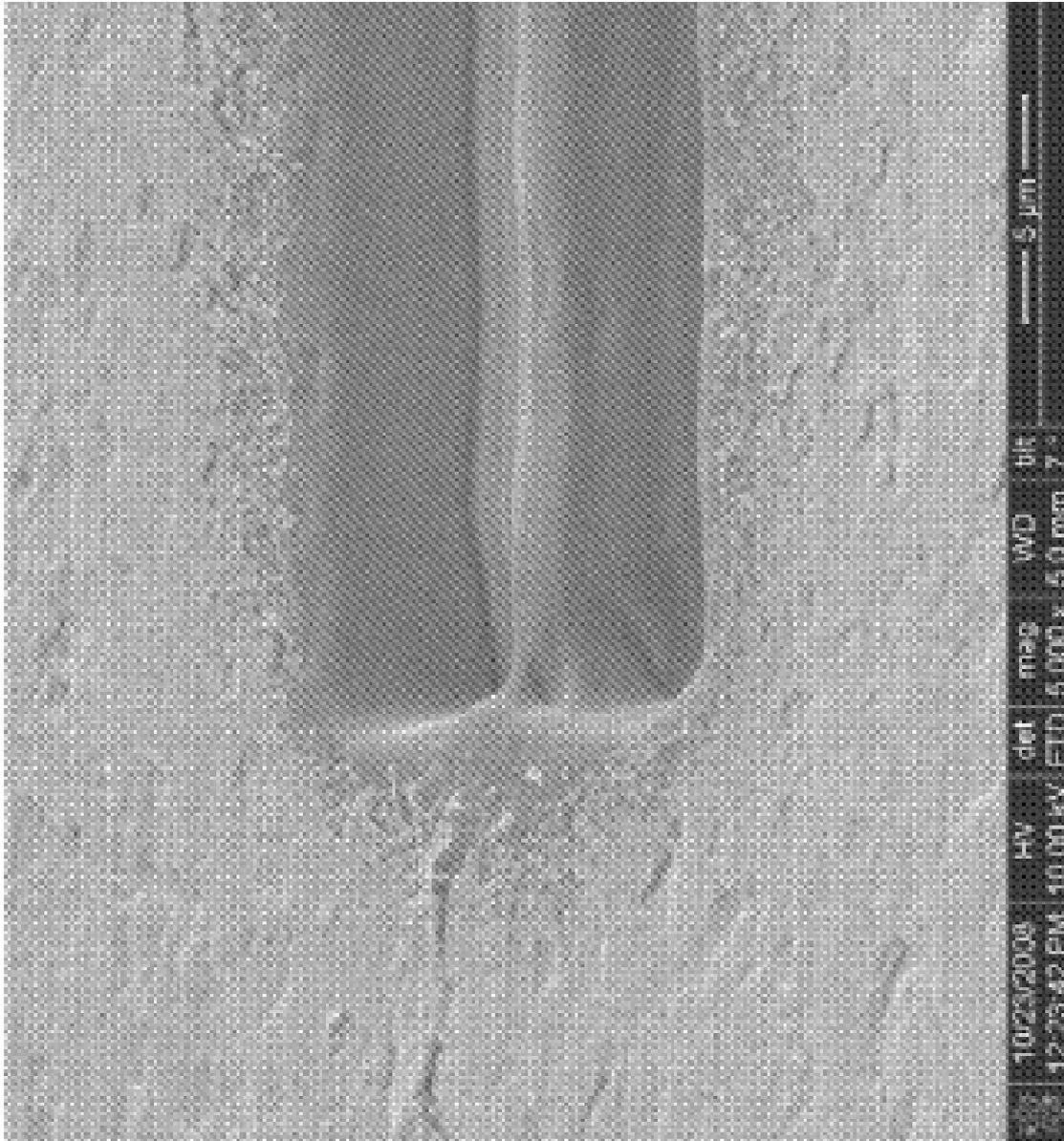


FIG. 8

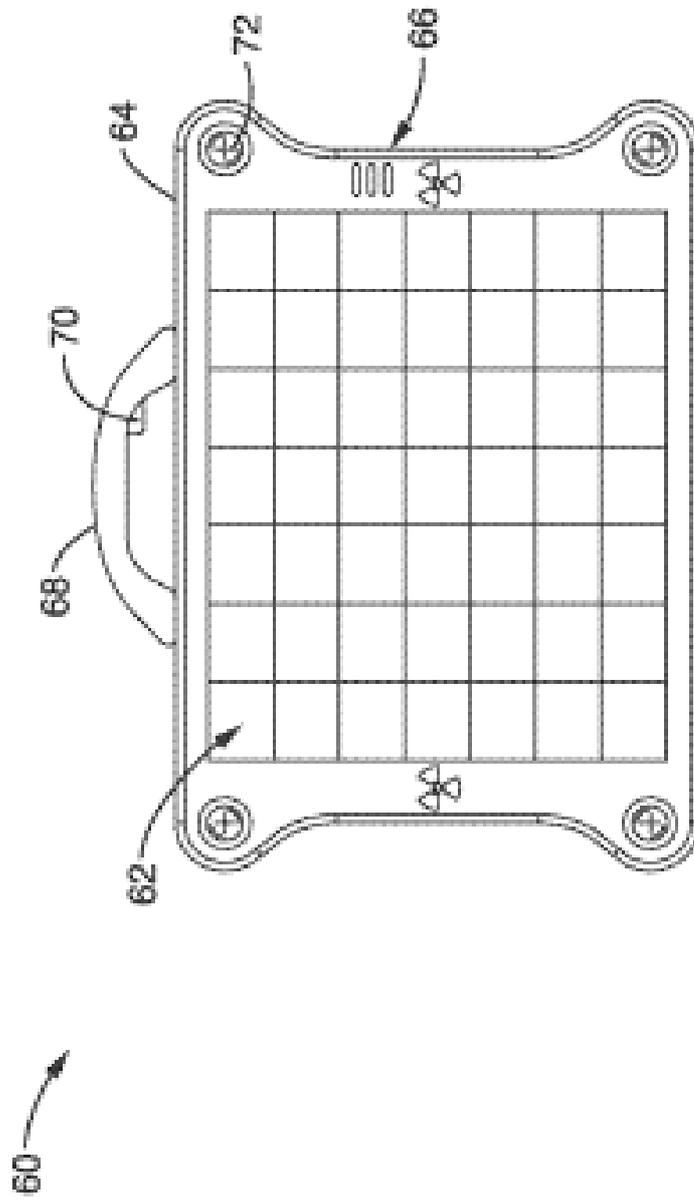


FIG. 9

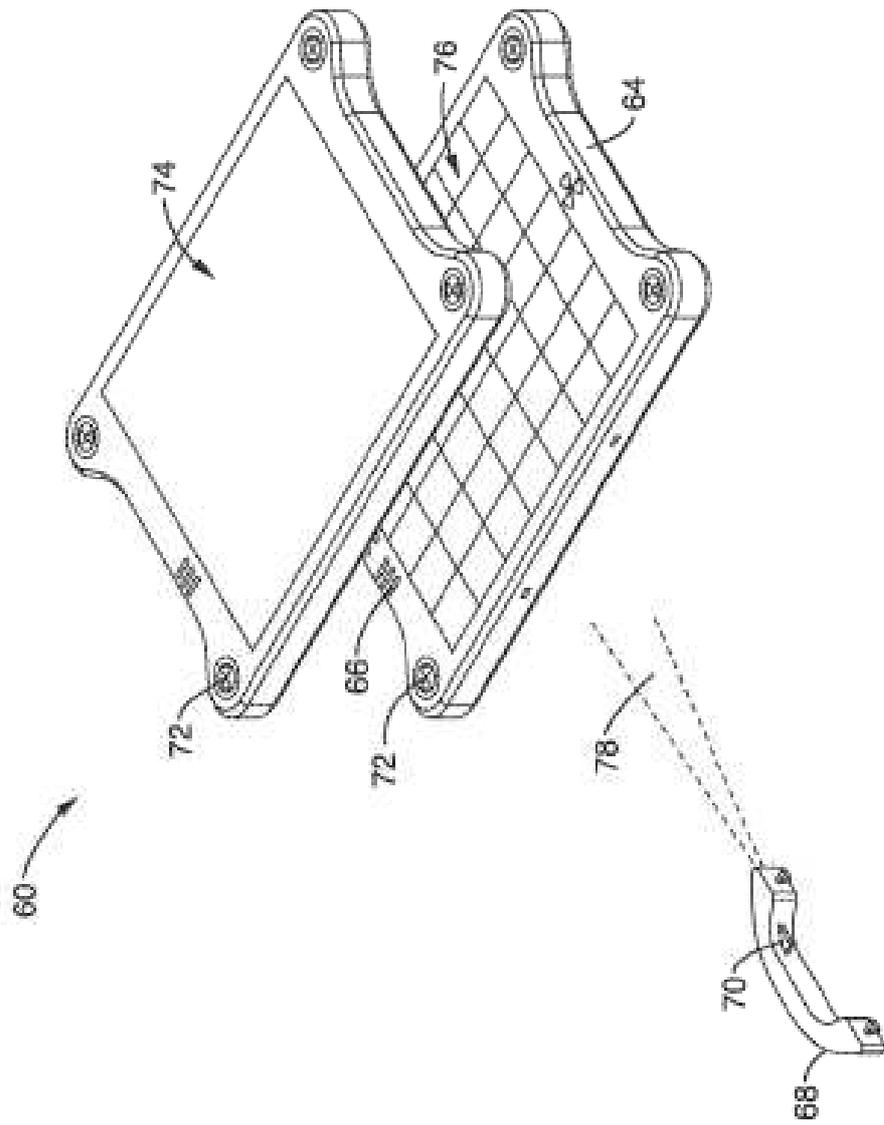


FIG. 10