

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 646 299**

51 Int. Cl.:

H01J 35/18 (2006.01)

G01T 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.10.2014 PCT/EP2014/072795**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.04.2015 WO15059250**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2014 E 14789260 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017 EP 3061117**

54 Título: **Generador de rayos X con sensor de flujo integrado**

30 Prioridad:

25.10.2013 FR 1302470

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.12.2017

73 Titular/es:

**THALES (50.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR y
COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (50.0%)**

72 Inventor/es:

**MAZELLIER, JEAN-PAUL;
DELFAURE, COLIN;
PONARD, PASCAL;
SAADA, SAMUEL y
FRANCHANT, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 646 299 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

Generador de rayos X con sensor de flujo integrado

La invención se sitúa en el ámbito de los tubos de rayos X y se refiere a la integración de un sensor de flujo de rayos X en el tubo.

5 Un generador de rayos X comprende principalmente una cámara de vacío que consta en uno de sus extremos de un cátodo y, en el otro extremo, un ánodo. Un haz de electrones desde el cátodo se acelera en la cámara de vacío bajo la acción de un campo eléctrico. El campo acelerador puede crearse o bien por una onda electromagnética de RF, o bien por un campo estático creado entre dos electrodos portados a muy altas tensiones eléctricas (típicamente de 10 kVolts a 500 kVolts). El haz electrónico altamente acelerado impacta con un objetivo generalmente constituido por un material refractario con un número atómico alto o bien que presenta rayas características de fluorescencia. La interacción entre los electrones energéticos y el objetivo permiten la transmisión de una radiación electromagnética en el ámbito de los X principalmente por efecto Bremsstrahlung y por fluorescencia X. Solo algunos porcentajes de energía de los electrones se utilizan para producir rayos X. El resto de la energía, es decir, aproximadamente del 96 al 99 %, se disipa en forma de calor principalmente en el objetivo. Bajo el flujo electrónico, la temperatura del objetivo puede acercarse al punto de fusión, realizándose el objetivo generalmente de tungsteno (3400 °). El calor producido debe evacuarse eficazmente ya que este fenómeno es uno de los principales factores que limitan el brillo de las fuentes de rayos X. La radiación X se propaga entonces fuera de la cámara de vacío pasando por una ventana que es transparente a los rayos X y se dispone en el trayecto del haz de rayos X.

20 Existe dos familias de tubos, los tubos que funcionan en reflexión y los que funcionan en transmisión. En un tubo de reflexión, el objetivo está presente en el interior del tubo. El flujo de rayos X se propaga hacia el exterior pasando por una ventana casi transparente a los rayos X (por ejemplo, berilio) realizada en la cámara del tubo. El objetivo y la ventana de transmisión están separados. En los tubos que funcionan en transmisión, el objetivo, en este caso constituido por una película delgada, se yuxtapone a la ventana transparente. La ventana llamada de transmisión tiene un papel importante en la evacuación del calor generado al nivel del objetivo. Además de una alta transparencia a los rayos X, la ventana de transmisión debe presentar una conductividad térmica máxima.

25 Independientemente del posicionamiento de la ventana de transmisión, el flujo de los rayos X puede variar en el tiempo, en intensidad y en energía con el fin de ajustar los parámetros de formación de imágenes tales como el contraste, el poder de penetración o la resolución espacial. La variación del flujo de rayos X es en este caso voluntaria. En efecto, un operario puede modificar la corriente y/o la tensión de aceleración del haz de electrones. La variación del flujo de rayos X puede también ser involuntaria, en particular, después de una fluctuación de la alimentación de alta tensión o de la fuente electrónica. Con el fin de utilizar el tubo generador de rayos X de manera óptima, una medición directa del flujo de rayos X es necesaria. En radioterapia, por ejemplo, esto permite conocer en tiempo real la tasa de dosis de radiación administrada por el tubo.

35 Actualmente, las ventanas de transmisión son principalmente de berilio. El berilio es un metal que posee una buena transparencia a los rayos X y una conductividad térmica del orden de 200 W/(m.K) a temperatura ambiente, que le permite disipar el calor liberado por el tubo de rayos X en funcionamiento. Por el contrario, el berilio es un material extremadamente cancerígeno capaz de provocar enfermedades graves si se inhala. Se puede citar, por ejemplo, la beriliosis. Por otra parte, siendo el berilio un metal, no puede utilizarse en la detección de flujo de rayos X.

40 Con una conductividad térmica comprendida entre varios cientos de W/(m/K) para un el diamante policristalino de síntesis y 2000 W/(m/K) para el diamante monocristalino, el diamante posee una conductividad térmica hasta diez veces superior al a del berilio y conduce eficazmente el calor. El diamante de número atómico $Z=6$ presenta una transparencia a los rayos X cercana a la del berilio ($Z=4$) y puede implementarse en forma de membrana estanca de ultravacío. El diamante monocristalino posee una excelente conductividad térmica, así como propiedades de detección de rayos X muy buenas. Por el contrario, no es posible sintetizarlo en una superficie superior a algunos milímetros cuadrados. El diamante policristalino puede sintetizarse fácilmente en superficies mayores. Y posee una conductividad térmica de 500 a 1500 W/m.K. La conductividad térmica del diamante policristalino depende de varios factores. Se puede citar, por ejemplo, la densidad de límites granulares y el tamaño de los granos de la estructura cristalina del diamante. Por otra parte, el diamante policristalino posee propiedades de detección de rayos X que dependen también de la calidad y de la estructura cristalina del diamante.

50 Desde hace poco, existen generadores de rayos X que constan de ventanas de transmisión de diamante policristalino. El reemplazo de las ventanas de transmisión de berilio por ventanas de transmisión de diamante permite trabajar con densidades de potencia superior. En efecto, la alta conductividad térmica del diamante permite disipar mejor el calor producido por el punto electrónico que golpea la ventana de transmisión. Una mejor disipación del calor es particularmente interesante para los tubos de rayos X que funcionan en transmisión, es decir, con una yuxtaposición de la función objetivo y de la función ventana en una misma estructura. En el estado de la técnica, solo la conductividad térmica alta del diamante se explota con el fin de lograr potencias superiores a la de los tubos tradicionales.

Actualmente, la medición del flujo real de rayos X se realiza indirectamente asociando por calibración la dosis de rayos X para la medición de la tensión de aceleración del haz electrónico y de la corriente del tubo de rayos X. Sin embargo, unas corrientes de fuga al nivel del generador de rayos X, unos microlacados o bien, los fenómenos de absorción y de filtración de energía de la estructura del tubo, son fuentes de error ya que se integran para la determinación del flujo, mientras que no generan flujo de rayos X útil.

Para paliar esta dificultad, la detección de un flujo de rayos X emitido por un tubo generador de rayos X puede realizarse con ayuda de un sensor, también llamado dosímetro. El sensor de flujo mide el flujo de rayos X incidentes. El sensor de flujo se coloca de algunos centímetros a algunos metros del tubo en la dirección seguida por el haz de rayos X.

La invención trata de integrar al tubo una ventana diseñada realizando un sensor de flujo de rayos X en una ventana de transmisión basada en diamante.

A tal efecto, la invención tiene por objeto un tubo generador de rayos X que comprende una cámara de vacío con un cátodo y un ánodo colocados en la cámara de vacío, emitiendo el cátodo un haz electrónico en dirección del ánodo, constando el ánodo de un objetivo que emite una radiación X cuando se impacta por el haz electrónico. Propagándose la radiación X fuera de la cámara de vacío atravesando la pared de la cámara por una ventana de transmisión de diamante, caracterizada porque un sensor de rayos X basado en diamante se integra en la ventana de transmisión de diamante.

Para la realización de un sensor de flujo de rayos X en línea, el diamante puede utilizarse como capa activa ya que posee propiedades semiconductoras. A diferencia de un detector remoto en el que la capa activa debe absorber la casi totalidad del flujo incidente de rayos X, un sensor de flujo de rayos X integrado solo debe absorber una pequeña fracción del flujo de rayos X para no perturbar el uso del tubo y administrar una información proporcional al flujo de fotones. De esta manera, se realiza una medición continua y en línea del flujo de rayos X sin perturbar el flujo útil del tubo. El diamante puede usarse para la integración de un sensor de flujo de rayos X en línea ya que presenta una muy buena transparencia a los rayos X. La adición de un detector de flujo remoto basado en diamante puede ser ventajosa para medir el flujo de rayos X realmente producido en línea. Esta combinación necesita, no obstante, utilizar dos sustratos de diamante independientes. La cointegración de un detector de flujo en una ventana de transmisión basada en diamante permitirá reducir el uso del material y aumentar el nivel de integración.

El documento WO 2004/026007 A2 desvela un tubo generador de rayos X según el preámbulo de la reivindicación 1. El documento US 5 717 214 desvela un sensor de rayos X basado en diamante, para medir el centrado del haz de rayos X, que puede tener una ventana de transmisión.

La invención se comprenderá mejor y otras ventajas surgirán con la lectura de la descripción detallada de un modo de realización dado a modo de ejemplo, descripción ilustrada por el dibujo adjunto en el que:

- las figuras 1a y 1b representan esquemáticamente un tubo de rayos X de reflexión y un tubo de rayos X de transmisión, respectivamente;
- la figura 2 ilustra una ventana de transmisión basada en diamante de un tubo de funcionamiento en transmisión con la función de evacuación del calor y la función de sensor de rayos X;
- la figura 3 representa una variante del sensor de rayos X con un anillo de guardia;
- la figura 4 representa una variante del sensor de rayos X con un detector montado en superficie de corriente;
- la figura 5 representa una variante de la ventana de transmisión para los tubos multifocales/multifuente o varios sensores de rayos X integrados en la ventana y colocados opuestos a varias fuentes electrónicas;
- la figura 6 representa una variante de la ventana de transmisión donde varios objetivos se yuxtaponen a la ventana;
- la figura 7 representa una variante de ventana de transmisión de diamante,
- la figura 8 representa un tubo generador de rayos X que comprende una realimentación.

Para mayor claridad, los mismos elementos llevarán las mismas referencias en las diferentes figuras.

De manera general y como se representa esquemáticamente en las figuras 1a y 1b, un tubo 10 generador de rayos X comprende una cámara 11 de vacío con un cátodo 12 y un ánodo 13 colocados en la cámara 11 de vacío. El cátodo 12 emite un haz 14 electrónico en dirección del ánodo 13 que se comporta como un objetivo que emite una radiación X 16 cuando se somete al haz 14 electrónico. Dicho de otro modo, el objetivo es el ánodo 13. La radiación X 16 se propaga fuera de la cámara 11 de vacío atravesando la pared de la cámara 11 por una ventana 17 transparente. La ventana 17 debe presentar una alta transparencia a los rayos X. En la figura 1a, el objetivo 13 está separado de la ventana 17 de transmisión. Se dice que el tubo 10 generador de rayos X tiene una estructura de reflexión. En la figura 1b, el objetivo 13 se yuxtaponen a la ventana 17 de transmisión. Se dice que el tubo 10 generador de rayos X tiene una estructura de transmisión. En el momento del impacto del haz 16 electrónico en el objetivo 13, una gran parte de la energía emitida por el haz 16 electrónico se disipa en forma de calor en el objetivo 13. El calor debe evacuarse eficazmente para evitar cualquier deterioro del tubo 10 generador de rayos X. Para una estructura de transmisión, estando el objetivo 13 yuxtapuesto a la ventana 17 de transmisión, la ventana 17 de transmisión tiene un papel importante en la evacuación del calor generado al nivel de del objetivo 13. Además de una alta transparencia a los rayos X, la ventana 17 de transmisión debe presentar una muy buena conductividad

térmica.

5 La figura 2 ilustra la ventana 30 de transmisión diseñada basada en diamante con una función de evacuación del calor (representada por la flecha 18) y una función de sensor 16 de rayos X. Un depósito de tungsteno o de otro metal que pueda constituir el objetivo 13 se realiza en la ventana 30 de diamante. El espesor de diamante debe poder permitir a la ventana soportar la diferencia de presión entre el vacío de la cámara 11 de vacío y la presión exterior de 1 bar (1 bar = 100 kPa) aproximadamente. Por ejemplo, para una ventana de diamante que posee un módulo Young de 1000 GPa y un diámetro de 8 mm, un espesor de 100 μm conviene para resistir una diferencia de presión de 1 bar. De este modo, además de las funciones térmicas y de detección, la ventana de transmisión tiene igualmente una función mecánica.

10 La ventana 30 de transmisión comprende una capa adicional de diamante. La capa adicional garantiza el papel del sensor 21 de rayos X. Se entiende bien que el sensor 21 puede implementarse tanto para un objetivo que funciona en reflexión como se representa en la figura 1a como para un objetivo que funciona en transmisión como se representa en la figura 1b. Constituyendo el cuerpo del diamante el sensor 21, no se dopa, es decir, que dispone de propiedades intrínsecas de semiconducción.

15 Se realiza un electrodo 19 al nivel del sensor 21 en la ventana de transmisión 30. El electrodo 19 puede componerse, por ejemplo, de capas metálicas. El electrodo 19 también se puede componer de capas de diamante dopado. Dicho de otro modo, el electrodo 19 es un semiconductor o un metal. La ventana 30 está soldada o pegada al tubo 10 generador de rayos X para integrarse ahí.

20 Durante el funcionamiento, un haz 14 electrónico impacta con el objetivo 13 y genera un flujo 16 de rayos X y calor. El calor se conduce hacia el cuerpo del tubo 10 generador de rayos X por conducción térmica a través de la ventana 30 de transmisión de diamante. La conductividad térmica del material de la ventana 30 tiene un papel fundamental para la evacuación del calor.

25 Se aplica una tensión 20 en el electrodo 19 del sensor 21. La corriente generada por el flujo 16 de rayos X en el diamante intrínseca del sensor 21 se recoge por los electrodos 19. La corriente eléctrica es proporcional al flujo emitido. Una tabla de calibración (no representada en la figura) permite conocer en tiempo real el flujo 16 de rayos X generado por el tubo 10 generador de rayos X.

30 Como se ha detallado anteriormente, el diamante posee una baja tasa de absorción del flujo de rayos X y puede permitir una medida en línea del flujo. Esta baja tasa de absorción del flujo de rayos X conlleva una respuesta menor (una corriente menor) a una dosis de rayos X en comparación con otros materiales semiconductores, como el silicio. Por otra parte, un diamante de buena calidad cristalográfica presenta un bajo nivel de ruido. De este modo, la relación señal a ruido es favorable y permite una medición precisa del flujo de rayos X a la vez que asegura una pérdida mínima del flujo útil.

35 La figura 3 representa la ventana 31 de transmisión diseñada basándose en diamante con una variante del sensor de rayos X con un anillo 22 de guardia conductor que rodea el sensor y se conecta a una fuente de tensión eléctrica. El anillo 22 de guardia conductor es de forma rectangular, pero puede tomar cualquier otra forma de polígono. El anillo 22 de guardia conductor es un anillo que rodea el electrodo 19.

40 Sin anillo 22 de guardia conductor, se polariza el electrodo 19 a V_0 mientras que el tubo 10 generador se conecta a tierra. En ausencia de flujo de rayos X, puede existir una corriente en la superficie del diamante que transita del electrodo 19 al cuerpo del tubo 10 debido a una diferencia de potencial en la superficie del diamante. Esto es lo que llamamos corriente de fuga. En la figura 2, se presenta por las flechas 41. Con el fin de limitar el efecto adverso de la diferencia de potencial, se polariza el electrodo 19 en potencial V_0 y se coloca un anillo 22 de guardia conductor que se polariza igualmente a V_0 . Por lo tanto, no existe diferencia de potencial en la superficie del diamante entre el electrodo 19 y el anillo 22 y, por lo tanto, ninguna corriente parásita entre el electrodo 19 y el anillo 22. Por otro lado, una corriente parásita puede aún estar presente entre el electrodo 19 y el cuerpo del tubo 10. Por esto se polariza independientemente el electrodo 19 y el anillo 22 de guardia conductor. Se mide la corriente del electrodo 19 y gracias a la presencia del anillo 22 de guardia conductor, las corrientes superficiales, también llamadas corrientes de fuga, 42 ya solo existen entre el anillo 22 de guardia conductor y el cuerpo del tubo 10 y, por lo tanto, no afectan a la corriente medida.

50 La figura 4 representa la ventana 32 de transmisión diseñada basándose en diamante con una variante del sensor 21 de rayos X 16 con un detector 24 montado en superficie de corriente. Dos electrodos 25 y 26 se realizan al nivel del sensor 21 en la ventana 17 de transmisión. Como para el electrodo 19, los electrodos 25 y 26 pueden componerse de capas metálicas o capas de diamante dopado. Los electrodos 25 y 26 se disponen clásicamente según una geometría anidada. Se supondrá que las corrientes de superficie evocadas en la configuración con un anillo de guardia conductor son insignificantes en relación con la corriente que se medirá en el diamante. Los electrodos 25 y 26 permiten medir una corriente generada en una zona cercana a la superficie del sensor 21 y eliminar las corrientes parásitas no deseadas.

55 De manera general, para recopilar una corriente, se aplica un campo eléctrico separador. Por ejemplo, la aplicación de una diferencia de potencial entre dos electrodos engendra un campo eléctrico que dirige cargas fotogeneradas en

el diamante. Los dos electrodos permiten recuperar la corriente resultante para efectuar la medición del flujo de rayos X. Los dos electrodos 25 y 26 aplican el campo, pero en la superficie del sensor. De este modo, la distancia entre los electrodos es pequeña, del orden de algunos micrómetros. Las tensiones que se aplicarán son menos importantes y la trayectoria de las cargas fotogeneradas se minimiza. Las cargas, por lo tanto, se recogen mejor. Por otra parte, el volumen de recogida es menor, por lo tanto, la cantidad de las cargas recogidas es menor, pero la temperatura de superficie del sensor 21 también es menor que en el volumen y el ruido térmico, por lo tanto, se reduce considerablemente. La relación señal a ruido, por lo tanto, es favorable.

Es posible que el flujo de rayos X no sea homogéneo, ya sea de manera involuntaria, o bien, de manera controlada estructurando desde el principio el haz 14 electrónico. Por lo tanto, es deseable poder medir espacialmente una distribución de flujo de rayos X. La estructuración del flujo de rayos X permite la reconstrucción de imagen para el análisis de rayos X. La estructuración del objetivo permite aplicaciones tales como la tomografía.

La figura 5 representa una variante de la ventana 33 de transmisión diseñada basándose en diamante donde se integran varios sensores de rayos X en la ventana 33. En la figura 5, se representan dos sensores 21 y 121. También es posible realizar una ventana en la que se integran más de dos sensores. Dos haces 14 y 114 electrónicos impactan en el objetivo 13. El objetivo 13 emite dos flujos 16 y 116 de rayos X. Dos juegos de electrodos 25, 26 et 125, 126 montados en superficie se realizan al nivel de la ventana 33 de transmisión. Se dice que el sensor está matrizado. De hecho, se integran diversos sensores en la ventana 33 de transmisión. La presencia de varios sensores permite una resolución espacial y temporal en presencia de varios haces electrónicos o de un solo haz electrónico no homogéneo.

La figura 6 representa una variación de la ventana 34 de transmisión diseñada basándose en diamante donde se integran los objetivos 15 y 115. El ejemplo muestra dos objetivos, pero es totalmente posible tener varios más. Un haz electrónico por objetivo o un haz electrónico único distribuido en todos los objetivos impacta contra los objetivos 15 y 115. Los dos objetivos 15 y 115 emiten cada uno un flujo de rayos X, respectivamente 16 y 116. Un juego de electrodos 25, 26 miden la corriente generada. Se dice que el objetivo está discretizado o estructurado con el fin de estructurar el flujo de rayos X.

El tubo generador de rayos X tal como se describe en la invención permite obtener, de esta manera, una medición directa, en línea de un flujo de rayos X. Además, es posible obtener informaciones acerca de la distribución espacial del flujo.

Actualmente, las ventanas de transmisión son principalmente de berilio. El berilio es un metal con una buena transparencia a los rayos X y posee una conductividad térmica de 200 W/m.K. Poco a poco, aparecen ventanas de transmisión de diamante. La ventana de transmisión tal como se utiliza en la invención puede ser o bien de diamante monocristalino en el caso de una ventana de pequeño tamaño, o bien de diamante policristalino. Finalmente, la ventana de transmisión del tubo generador de rayos X según la invención puede ser de diamante policristalino con al menos una inclusión de diamante monocristalino. Esto permite mejorar la medición del flujo de rayos X a la vez que conserva una superficie importante de la ventana.

La figura 7 representa una ventana de transmisión de diamante monocristalino y policristalino. La ventana de transmisión de diamante monocristalino y policristalino se obtiene poniendo un diamante 50 monocristalino en un soporte que permite el crecimiento de una película de diamante (silicio, molibdeno, etc.). Una máscara se deposita sobre una superficie 53 paralela al soporte del diamante monocristalino y opuesta al soporte. Se sintetiza diamante 51, 52 policristalino alrededor del diamante monocristalino. El diamante monocristalino crece lateral y verticalmente. Después del crecimiento del diamante policristalino, se retira la máscara en el diamante monocristalino y la película de diamante se libera de su soporte y se obtiene una ventana de transmisión de diamante policristalino con una inclusión de diamante monocristalino. La ventana de transmisión puede tener varias inclusiones de diamante monocristalino. Cada inclusión de diamante monocristalino tiene habitualmente una sección cuadrada, pero puede tomar cualquier otra forma.

La ventana de transmisión de diamante monocristalino y policristalino combina las propiedades excelentes de conductividad térmica y de detección de rayos X del diamante monocristalino sobre una pequeña superficie y las buenas propiedades térmica y mecánica del diamante policristalino sobre una gran superficie. Idealmente, la ventana de transmisión se concibe y se coloca para que la o las inclusiones de diamante 50 monocristalino sean en el eje de o de los haces 14 electrónicos. El calor generado se propaga eficazmente en la dirección radial sobre algunos milímetros de inclusión de diamante monocristalino. El calor se evacúa a continuación por el diamante policristalino. El espesor de diamante policristalino en una ventana de transmisión de diamante policristalino con inclusiones de diamante monocristalino para disipar una cantidad dada de calor se reduce en relación con una ventana de transmisión únicamente de diamante policristalino. La ventana de transmisión de diamante policristalino con inclusiones de diamante monocristalino es robusta mecánicamente y transparente a los rayos X. Las inclusiones de diamante monocristalino de la ventana pueden utilizarse para la realización de un sensor 21 de flujo de rayos X. Un electrodo 19 se realiza entonces al nivel del sensor 21. De este modo, la ventana de transmisión permite disipar el calor de manera eficaz, resistir a las condiciones mecánicas impuestas por la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la cámara y detectar en tiempo real el flujo de rayos X emitidos por el tubo generador de rayos X.

De este modo, bajo el efecto de un campo eléctrico, el cátodo 12 de un tubo 10 generador de rayos X emite un haz 14 electrónico cuyos electrones se aceleran en la cámara 11 de vacío del tubo 10 generador gracias a una onda electromagnética de RF o un campo estático creado entre el ánodo 13 y el cátodo 12. De manera general, existen varios tipos de cátodos que generan electrones bajo el efecto de un campo. Entre ellas, los cátodos fríos basados en nanotubos de carbono son emisores con efecto de campo que presentan un cierto número de potenciales como la transmisión de electrones de alta frecuencia y la conmutación con ayuda de una señal óptica. Un cátodo frío es capaz de conducir un haz electrónico para hacer fotocontrol. Por otra parte, como se explicó anteriormente, el generador 10 de rayos X con sensor de flujo integrado permite medir en directo la dosis emitida por el tubo 10 sin perturbar el uso.

5 La figura 8 representa un tubo generador de rayos X que comprende una realimentación 70. Los elementos representados comunes a los elementos de la figura 2 son idénticos. En la figura 8, a la ventana de transmisión diseñada se hace referencia con el número 30. Cabe señalar que bien podría tratarse de la ventana 31, 32, 33 o 34 de transmisión de las figuras 3 a 6. Asimismo, la ventana de transmisión puede ser de diamante policristalino o monocristalino o, de diamante policristalino con al menos una inclusión de diamante monocristalino, en cuyo caso, el sensor de rayos X puede integrarse en la ventana de transmisión de diamante al nivel de una inclusión de diamante monocristalino.

Actualmente, existen dispositivos de control y realimentaciones de un flujo de rayos X. Este control se realiza generalmente ya sea por un detector externo a la fuente de fotones, o bien por la medición de la corriente de alta tensión administrada por el generador a la fuente de rayos X. Estos dos dispositivos presentan limitaciones para un control preciso y en tiempo real de la dosis de rayos X.

En el caso de un detector externo a una distancia d , el flujo de radiación ionizante varía con el cuadrado de la distancia d y el posicionamiento espacial del detector. Por lo tanto, es necesario conocer y calibrar con precisión este dispositivo. Teniendo en cuenta las desviaciones del conjunto del sistema formado por el generador, la fuente de rayos X, la geometría del sistema de formación de imágenes y del detector, estas calibraciones deben ser particularmente frecuentes, por ejemplo, para aplicaciones de formación de imágenes médicas o de laminografía.

Otra limitación de los dispositivos actuales a un buen control del flujo de rayos X aparece en el caso donde el objeto o el paciente está situado entre la fuente y el detector. En esta configuración, existe una modificación del espectro de radiación conectado a la interacción del medio cruzado. El espectro de energía de la fuente se modificará a la salida del objeto en un espectro variable en función del objeto. No siendo la respuesta del detector de control lineal en función de la energía de los fotones, esta modificación espectral introducirá una dificultad para la calibración del sistema y de la realimentación de la dosis.

Al nivel de los generadores de rayos X actuales, existen igualmente limitaciones a la realimentación de la dosis por la corriente de alta tensión administrada por el generador a la fuente de rayos X. De hecho, la corriente recibida por el ánodo y que produce la radiación ionizante no es rigurosamente proporcional a la corriente impuesta por el generador. Pueden aparecer corrientes de fugas variables ya sea al nivel del multiplicador de tensión en el generador, o bien, en los conectores de alta tensión y, finalmente, en el interior de la fuente de rayos X.

Además, unas corrientes parásitas pueden afectar a la precisión de una realimentación por la corriente I_k del generador. Una corriente de fuga I_{fg} puede existir al nivel del multiplicador de tensión que es difícil de medir sobre los componentes electrónicos portados en la alta tensión (20 a 500 kV). Puede existir una corriente de fuga I_{fi} al nivel del conector de tubo/generador de alta tensión. Finalmente, puede existir una corriente de fuga I_f en el interior de la fuente de rayos X. La corriente de fuga I_f en el interior de la fuente de rayos X puede ser fluctuante y variable en el tiempo, es difícil de medir en tiempo real. Esta corriente representa una fracción de la corriente electrónica producida por el cátodo, pero interceptada antes de alcanzar el ánodo adjunto a la corriente emitida por efecto del campo al nivel de los electrodos catódicos que constituyen el tubo generador de rayos X y la corriente que corresponde a los electrones secundarios retrodispersados al nivel del ánodo por colisión elástica o retransmisión secundaria verdadera.

El tubo 10 generador de rayos X comprende una realimentación de haz 14 electrónico del cátodo 12 en función de una medición 71 de un flujo de rayos X emitido por el tubo 10 generador. Ventajosamente, el cátodo 12 es un fotocátodo de nanotubo de carbono.

De este modo, el tubo 10 generador de rayos X comprende una realimentación 70 directo entre la corriente recibida por el ánodo 13 que produce la radiación ionizante y el elemento que produce esta corriente de ánodo. Este dispositivo necesita un sensor de flujo integrado y ventajosamente un fotocátodo de nanotubo de carbono u otro tipo de emisor de electrones, más convencional, del que se puede modular la corriente. Estas dos funciones se integran en el seno de la misma fuente de rayos X.

El sensor de flujo integrado en el ánodo 13 proporciona una señal proporcional a la dosis real generada por la fuente de rayos X. La medición 71 administrada por el sensor de flujo permite un control directo de la corriente del cátodo con el fin de mantener, no a través del sesgo de una instrucción 72, la corriente de ánodo con un valor preciso, independientemente de las variaciones de la corriente de fuga.

- 5 La realimentación de la corriente emitida por la señal del sensor de flujo permite generar una dosis de rayos X muy estable, independientemente de las corrientes parásitas o de fuga del sistema formado por el generador, los conectores de alta tensión y la fuente de rayos X. Cualquier modulación de la corriente de transmisión se mide por el sensor del generador y el bucle de realimentación 70 corregirá la señal de control del cátodo 12 en consecuencia. Este modo de funcionamiento es particularmente interesante para el uso de cátodos basados en nanotubos de carbono ya que permite estabilizar la dosis administrada cuando la transmisión impulsa a alta frecuencia o cuando el cátodo se fotocontrola por una señal 73 óptica por el sesgo de un controlador 74 óptico.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Tubo (10) generador de rayos X que comprende una cámara (11) de vacío con un cátodo (12) y un ánodo (13) colocados en la cámara (11) de vacío, emitiendo el cátodo (12) un haz (14) electrónico en dirección del ánodo (13), constando el ánodo (13) de un objetivo (13) que emite una radiación X (16) cuando se impacta por el haz (14) electrónico, propagándose la radiación X (16) fuera de la cámara (11) de vacío atravesando la pared (11) de la cámara por una ventana (17; 30; 31; 32; 33; 34) de transmisión basada en diamante, **caracterizado porque** un sensor (21; 121) de rayos X basado en diamante se integra en la ventana (17) de transmisión basada en diamante.
2. Tubo (10) generador de rayos X según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el objetivo (13) está separado de la ventana (17; 30; 31; 32; 33; 34) de transmisión.
- 10 3. Tubo (10) generador de rayos X según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el objetivo (13) se yuxtaponen a la ventana (17; 30; 31; 32; 33; 34) de transmisión.
4. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el sensor (21) de rayos X comprende al menos un electrodo (19) compuesto de capas conductoras.
- 15 5. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el sensor (21) de rayos X comprende al menos un electrodo (19) compuesto de capas de diamante dopadas.
6. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el sensor (21) de rayos X consta de un detector (24) de corriente montado en superficie.
7. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** varios sensores (21; 121) se integran en la ventana (33) de transmisión.
- 20 8. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** varios objetivos (15; 115) se yuxtaponen a la ventana (34) de transmisión.
9. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el sensor (21) de rayos X consta de un anillo (22) de guardia conductor que rodea el sensor y se conecta a una fuente de tensión eléctrica.
- 25 10. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la ventana (17; 30; 31; 32; 33; 34) de transmisión es de diamante policristalino.
11. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la ventana (17; 30; 31; 32; 33; 34) de transmisión es de diamante monocristalino.
- 30 12. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la ventana (17; 30; 31; 32; 33; 34) es de diamante policristalino con al menos una inclusión de diamante (50) monocristalino.
13. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el sensor (19) de rayos X se integra en la ventana (17; 30; 31; 32; 33; 34) de transmisión de diamante al nivel de una inclusión de diamante (50) monocristalino.
- 35 14. Tubo (10) generador de rayos X según una de las reivindicaciones 4 a 13, **caracterizado porque** comprende una realimentación (70) del haz (14) electrónico del cátodo (12) en función de una medición (71) de un flujo de rayos X emitidos por el tubo (10) generador.
15. Tubo (10) generador de rayos X según la reivindicación 14, **caracterizado porque** el cátodo (12) es un fotocátodo de nanotubo de carbono.

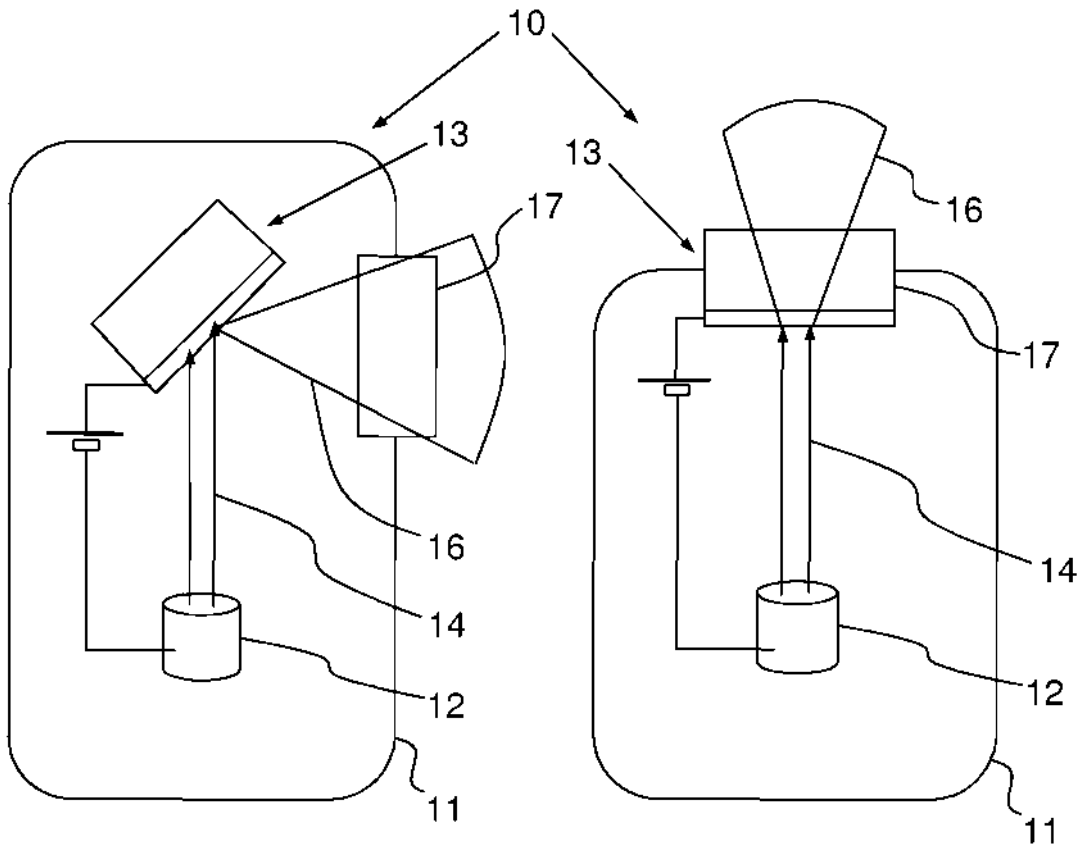


FIG.1a

FIG.1b

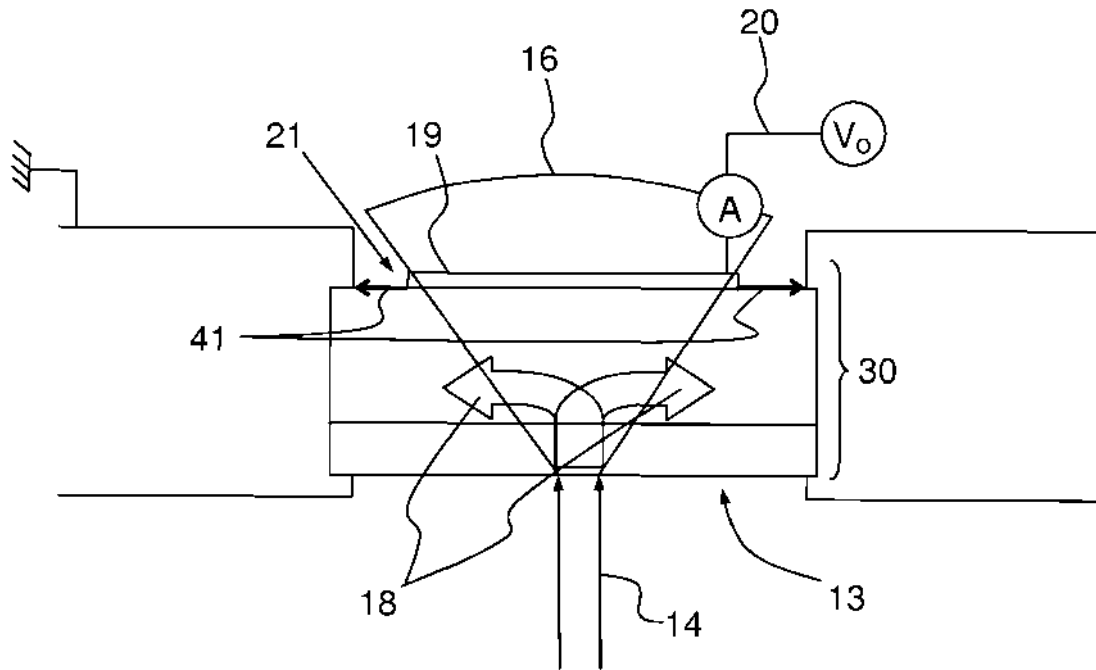


FIG.2

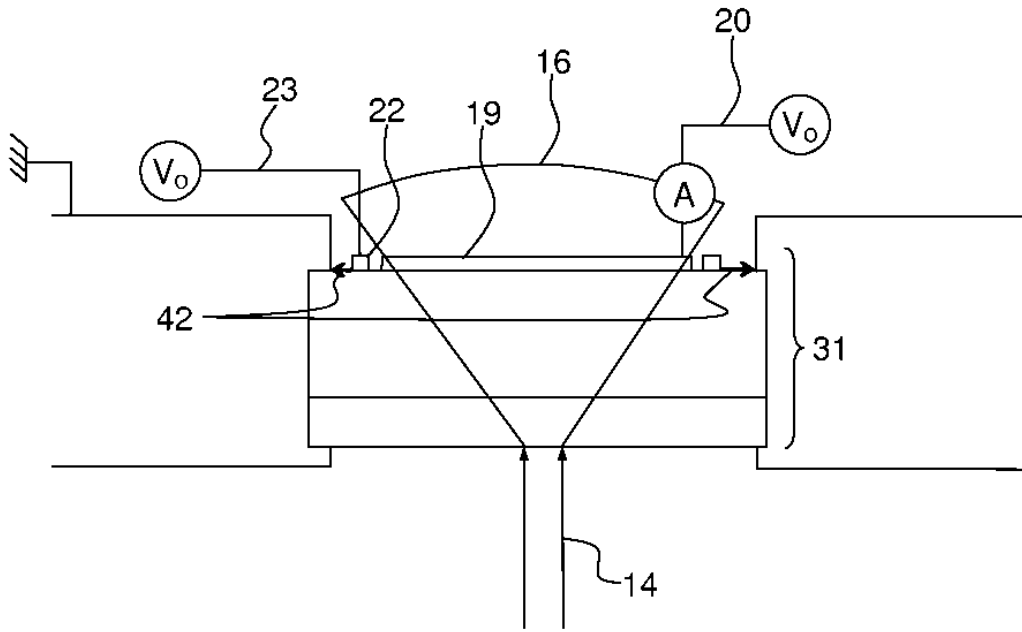


FIG.3

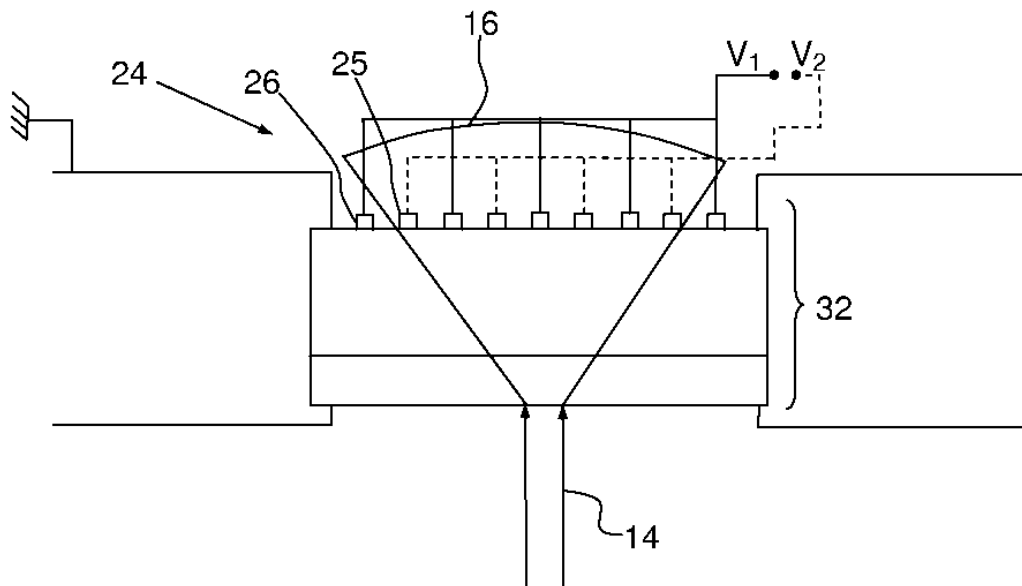


FIG.4

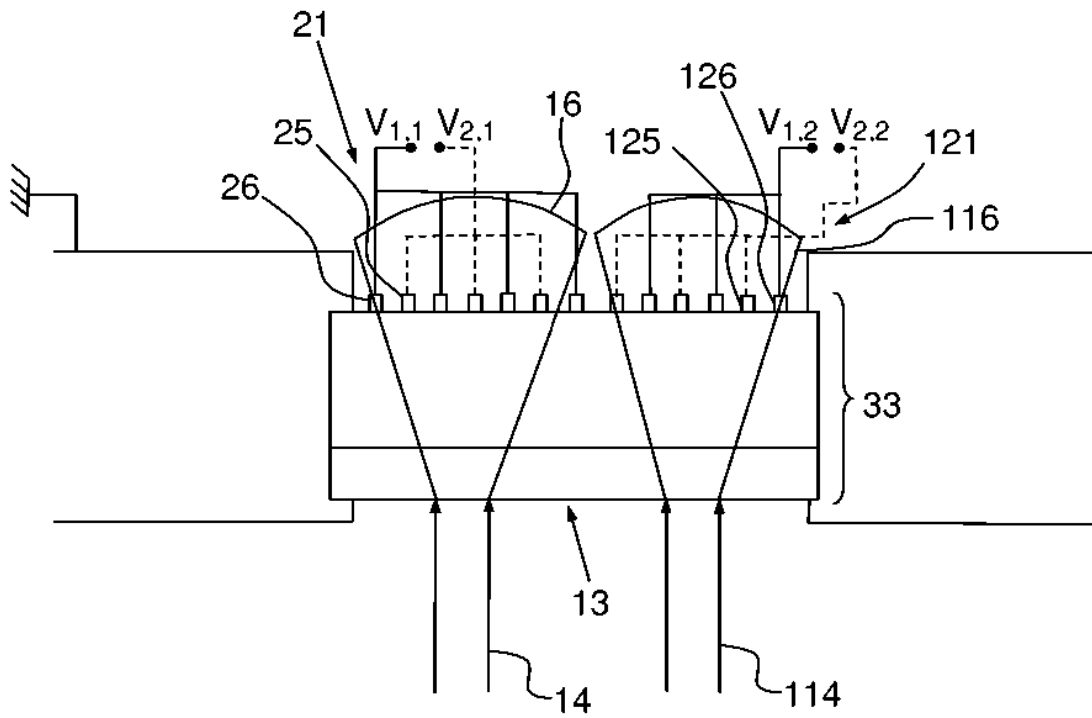


FIG.5

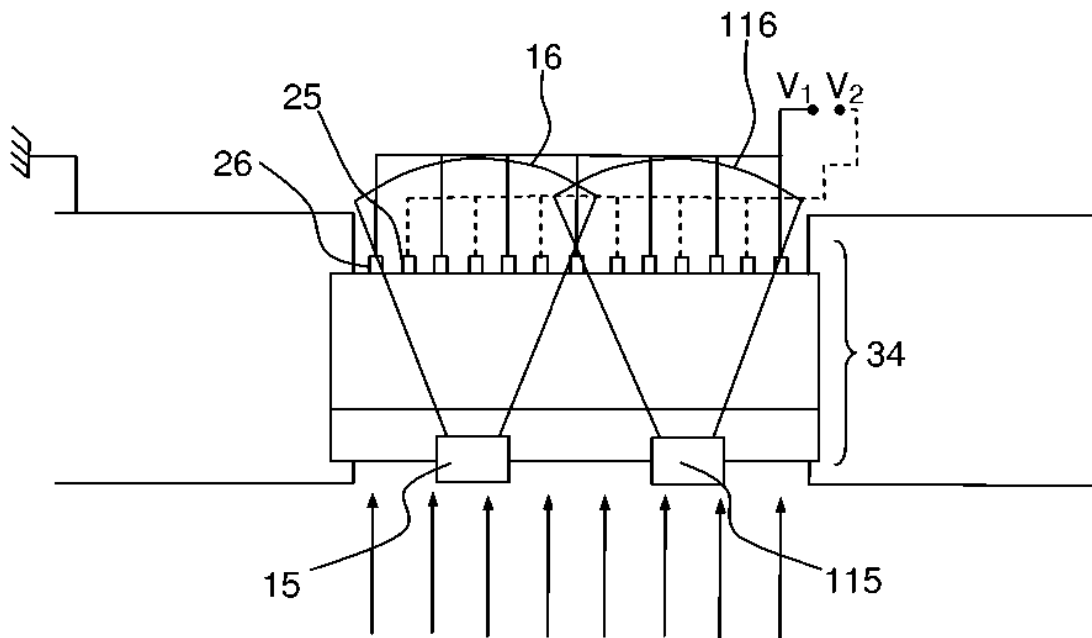


FIG.6

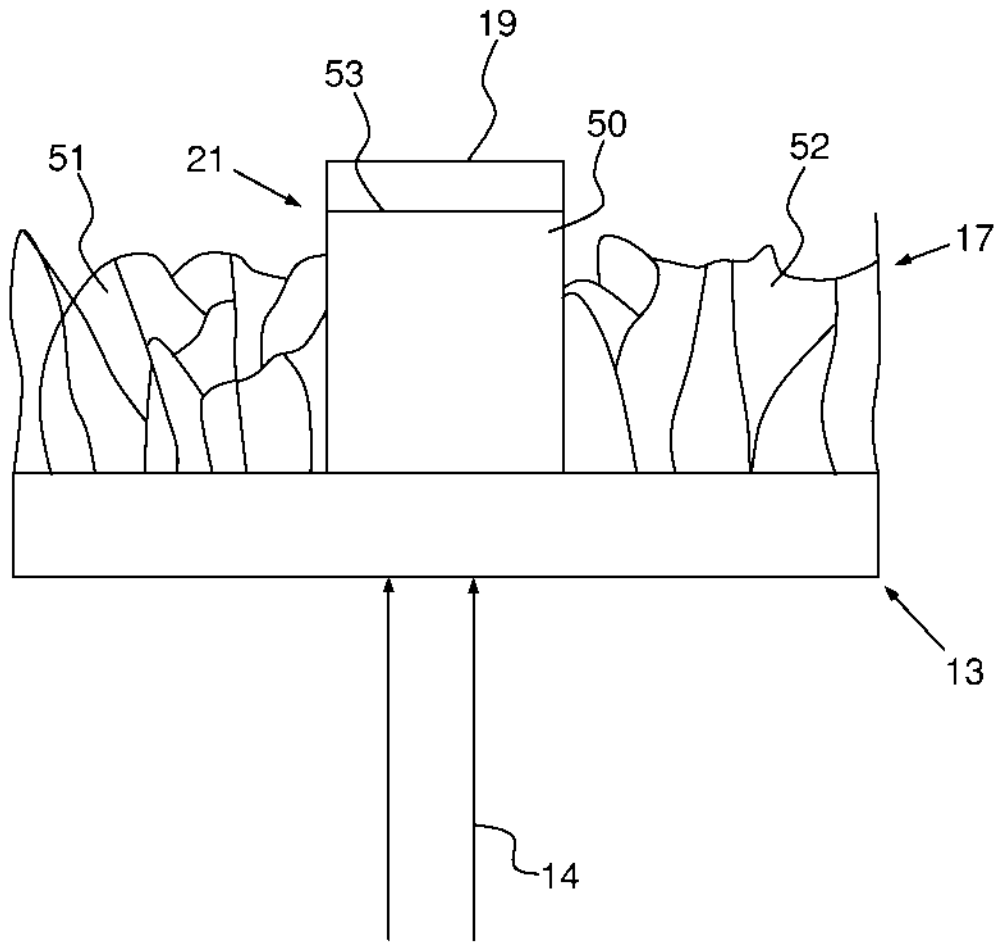


FIG.7

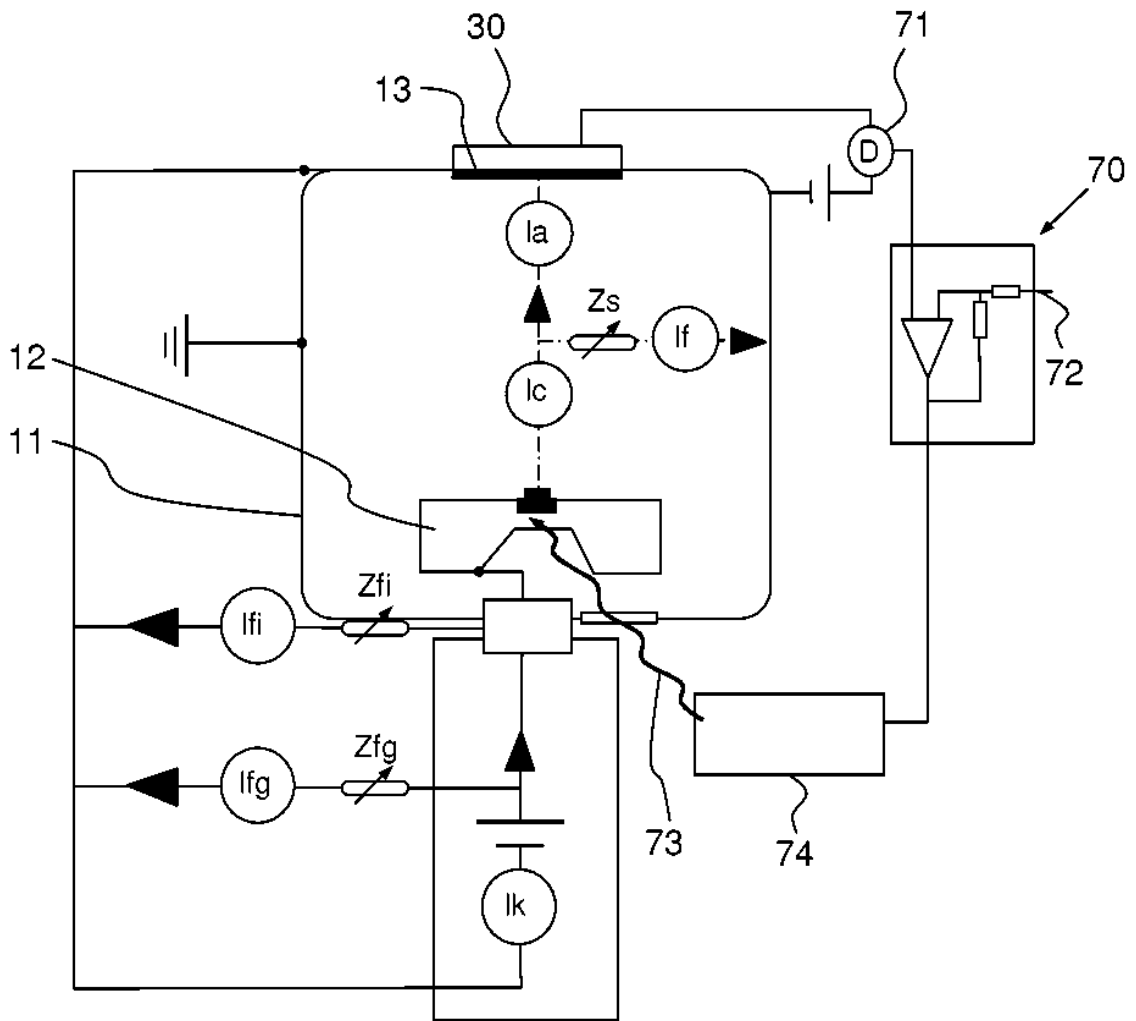


FIG.8