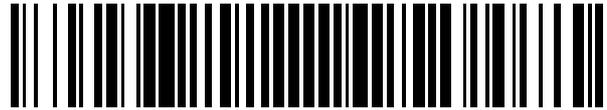


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 453 484**

51 Int. Cl.:

G01T 1/11 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2008 E 08850239 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2014 EP 2212718**

54 Título: **Dosímetro local para medir la dosis equivalente ambiental de radiación fotónica y procedimiento para la lectura**

30 Prioridad:

15.11.2007 DE 102007054927

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

07.04.2014

73 Titular/es:

**GSi HELMHOLTZZENTRUM FÜR
SCHWERIONENFORSCHUNG GMBH (100.0%)
PLANCKSTRASSE 1
64291 DARMSTADT, DE**

72 Inventor/es:

**FEHRENBACHER, GEORG;
FESTAG, JOHANNES GEORG;
GROSAM, SEBASTIAN y
VOGT, KARSTEN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Nuria

ES 2 453 484 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

Dosímetro local para medir la dosis equivalente ambiental de radiación fotónica y procedimiento para la lectura.

Campo de la invención

5 La invención se refiere a un dosímetro local para medir la dosis equivalente ambiental de radiación fotónica y a un procedimiento para leer un dosímetro local de este tipo.

Antecedentes de la invención

10 Durante el manejo de sustancias radiactivas así como durante el funcionamiento de aceleradores, instalaciones de rayos X y emisores de radiación parásita, para la protección de las personas deben disponerse zonas de protección frente a la radiación, en las que en cada caso se aplican determinadas normas de protección. Esto hace necesaria una supervisión, es decir, una medición continua de la radiación. Para ello se utilizan los denominados dosímetros.

15 Para la supervisión de la protección frente a la radiación, en particular en aceleradores, además de la medición del nivel del haz de neutrones también es necesaria la medición de la radiación fotónica. Con la entrada en vigor del nuevo reglamento de protección frente a la radiación y el reglamento sobre protección frente a daños por rayos X deben utilizarse magnitudes nuevas para la dosis local/dosis en personas. El tamaño de la dosis necesario hasta ahora "dosis equivalente fotónica Hx" se sustituye por el tamaño de la dosis "dosis equivalente ambiental H*(10)" para radiación penetrante.

20 El tamaño de la dosis necesario hasta el momento se basa en la dosis que se genera por la radiación de manera libre en el aire; el nuevo tamaño de la dosis se define por la dosis que se produce por la misma radiación a una profundidad de 10 mm en un cuerpo de ensayo normalizado (esfera ICRU; ICRU = *International Commission on Radiation, Units and Measurements*, Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas). La definición es la siguiente: La dosis equivalente ambiental H*(10) en el punto de interés en el campo de radiación verdadero es la dosis equivalente que se produciría en el campo de radiación alineado y expandido correspondiente a una profundidad de 10 mm en la esfera ICRU sobre el vector del radio opuesto a la dirección de incidencia del rayo.

25 Existen dosímetros locales activos, es decir, electrónicos, y dosímetros locales pasivos. Como monitores activos se conocen, por ejemplo, dosímetros de centelleo, tubos contadores de Geiger-Müller, tubos contadores proporcionales y cámaras de ionización.

30 Por el documento DE 697 11 199 T2 se conoce un dosímetro para radiación gamma y de rayos X de baja energía con el que entre otras cosas puede medirse la dosis equivalente ambiental H*. Este dosímetro utiliza un fotodiodo a base de silicio y un segundo detector a base de diamante, cuyas señales de medición se procesan electrónicamente mediante preamplificadores de corriente y convertidores de analógico a digital.

35 Con los monitores activos, por ejemplo del tipo FHZ 600A (distribución Thermo Electron, Erlangen) se detectan los niveles de la radiación gamma producida por ejemplo en el recinto de experimentación EH así como en el campo de los experimentos con el sincrotrón de la asociación para la investigación de iones pesados mbH. Los monitores activos tienen la desventaja de que son complejos y caros y requieren una conexión de corriente o que su batería tiene que cambiarse regularmente. Además, en el caso de pulsos de radiación intensos cortos, que pueden aparecer en particular en aceleradores de funcionamiento pulsado, pueden sufrir una sobremodulación, lo que puede tener como consecuencia un falseamiento del resultado de supervisión. Por tanto, para la medición de radiación de rayos X y radiación gamma pulsada se utilizan preferiblemente dosímetros pasivos.

40 Por el documento DE 1 489 922 se conoce un procedimiento para medir la dosis de radiación esencialmente por debajo de 45 keV. A este respecto dos elementos de medición de vidrio de fosfato se dotan de fundas diferentes para obtener una medición independiente de la energía por formación de diferencia. Además, la radiación entre 40 y 80 keV quedará sin considerar porque estos valores de medición se anulan en la formación de diferencia.

45 Los dosímetros locales pasivos contienen normalmente un elemento detector pasivo, que recibe y almacena la radiación incidente debido a procesos físicos sin la necesidad de corriente eléctrica. Un ejemplo típico para ello son los detectores de termoluminiscencia (TLD). Los detectores de termoluminiscencia contienen por ejemplo cristales de fluoruro de litio de los isótopos ⁶LiF o ⁷LiF, diferenciándose ⁶LiF y ⁷LiF en el comportamiento de respuesta para la radiación neutrónica, aunque para la radiación fotónica presentan el mismo comportamiento de respuesta. Los detectores de termoluminiscencia de este tipo pueden obtenerse, por ejemplo, de la empresa Thermo Electron GmbH. Sobre tarjetas detectoras de termoluminiscencia hay por ejemplo cuatro cristales de ⁷LiF. Las tarjetas detectoras irradiadas se evalúan en una máquina automática. Además, en un procedimiento de calentamiento se detecta la luz emitida por los TLD por medio de fotomultiplicadores y se registran denominadas curvas de brillo. A través de las curvas de brillo medidas se determina la dosis.

55 Por el documento DE 39 03 113 A1 se conoce un dosímetro con una tarjeta de dosímetro con los cristales de fluoruro de litio mencionados anteriormente. A este respecto, sin embargo, no se trata de un dosímetro local, sino de un dosímetro para personas y a este respecto, sobre todo, del diseño de la tarjeta detectora. Ésta deberá tener una

configuración cuadrada para aumentar la distancia de los cristales. Los dosímetros para personas están configurados normalmente en forma de placa, una denominada “*badge*”. En “Estimation of ambient dose equivalent from environmental radiation using a CaSO₄ thermoluminescence dosimeter” de A.R. Lakshmanan *et al.* en Radiation Protection Dosimetry vol. 32, n.º 2 págs. 127-130, 1990, ISSN: 0144-8420 se propone utilizar una placa de este tipo como dosímetro ambiental. A este respecto se describen estimaciones para el comportamiento de respuesta con filtros metálicos y ventanas de plástico. En “Li:Mg, Cu, P based environmental dosimeter and dose calculation algorithm” de O.R. Perry *et al.* en Radiation Protection Dosimetry vol. 85, n.ºs 1-4 págs. 273-281, 1999, ISSN: 0144-8420 se describe un algoritmo de cálculo para una placa.

Se conocen dosímetros locales H*(10) de la empresa Seibersdorf Research, que contienen una tarjeta de dosímetro de aluminio con cuatro chips de fluoruro de litio. Las tarjetas de dosímetro están soldadas en una lámina de material compuesto de plástico para la protección frente al ensuciamiento y se insertan desde arriba en un intersticio abierto en un cilindro de plástico (véase también “The use of the Monte Carlo simulation technique for the design of an H*10 dosimeter based on TLD-100” de C. Hranitzky *et al.* en Radiation Protection Dosimetry vol. 101 n.ºs 1-4, págs. 279-282, 2002, ISSN: 0144-8420 así como el 11º International Congress of the International Radiation Protection Association, 23-28 de mayo de 2004, España, “Prototype Development of a Thermoluminescence Dosimeter Based on Monte Carlo Simulation Methods” de C. Hranitzki *et al.*). A continuación se cierra el dosímetro con un capuchón protector de aluminio revestido con polvo para colocarse o colgarse en el lugar de medición y realizar una medición durante un periodo de medición de 3 meses.

En estos dosímetros locales es desventajoso inicialmente que la capacidad de respuesta de los detectores de termoluminiscencia presente una fuerte dependencia de la energía. Por normas legales, por ejemplo el reglamento alemán de protección frente a la radiación (véase el reglamento sobre la protección frente a daños por rayos ionizantes (reglamento de protección frente a la radiación - StrlSchV) del 20 de julio de 2001), con la magnitud H*(10) explicada anteriormente se establece la magnitud que debe medirse por un dosímetro equivalente ambiental.

Sin embargo, para cristales de termoluminiscencia puros la dependencia de la energía sólo se encuentra en un intervalo de energía de desde aproximadamente 100 keV hasta 1 MeV similar al caso de la magnitud H*(10). También los dosímetros locales H*(10) de la empresa Seibersdorf Research, a pesar del cilindro de plástico, sólo se indican con un intervalo de consumo de energía de desde 30 keV hasta 1,3 MeV. Es especialmente problemático para muchos campos de aplicación la falta de precisión en el intervalo entre 10 keV y 30 keV. En general sería deseable un intervalo de medición de desde 10 keV hasta 3 MeV, aún mejor hasta 10 MeV.

Además es incierto si estos dosímetros locales tienen una precisión de medición suficiente por todo el intervalo angular de 360º. Así, por ejemplo, no es obvio que un dosímetro local, que a 0º tiene una precisión de medición suficiente por un intervalo de energía determinado, también la tenga a, por ejemplo, 75º.

Por tanto, en resumen, existe una necesidad de mejora con respecto a los dosímetros locales conocidos.

Descripción general de la invención

Por tanto, la invención se ha planteado el objetivo general de proporcionar un dosímetro local y un procedimiento de lectura que posibiliten una medición precisa de la dosis equivalente ambiental también de radiación fotónica pulsada.

Un objetivo específico de la invención es proporcionar un dosímetro local y un procedimiento de lectura que puedan reproducir un comportamiento de respuesta espectral para radiación fotónica, que corresponda con la mayor precisión posible a una función normalizada predefinida para una indicación de dosis relativa por un intervalo espectral lo más grande posible, en el que va a realizarse una dosimetría.

Otro objetivo más específico de la invención es proporcionar un dosímetro local H*(10), que en el intervalo de energía por debajo de 100 keV, en particular entre 10 keV y 30 keV, aunque dado el caso también adicionalmente en el intervalo de energía de desde por encima de 1,3 MeV hasta aproximadamente 3 MeV o incluso hasta 10 MeV posibilite una medición precisa de la dosis equivalente ambiental.

Aún un objetivo de la invención es proporcionar un dosímetro local H*(10), que en el intervalo de energía deseado posibilite una precisión de medición lo más independiente del ángulo posible.

El objetivo de la invención se soluciona mediante el objeto de las reivindicaciones independientes. Perfeccionamientos ventajosos de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes.

Según la invención se proporciona un dosímetro local pasivo, no electrónico para medir la dosis equivalente ambiental H*(10) de radiación fotónica. La dosis equivalente ambiental se mide por un ángulo de 360º o dado el caso incluso un ángulo sólido de 4π lo más independiente posible de la dirección. El intervalo de uso del dosímetro local comprende radiación de rayos X y gamma en el intervalo de preferiblemente al menos desde 10 keV hasta por encima de 1 MeV, de manera especialmente preferida hasta 3 MeV o incluso hasta 10 MeV.

El dosímetro local comprende un cuerpo de dispersión para la radiación fotónica y una tarjeta detectora con al menos un primer par de elementos detectores pasivos sensibles a la radiación fotónica, en particular dos chips

detectores de termoluminiscencia, por ejemplo dos chips de fluoruro de litio (chips de LiF). Por tanto los elementos detectores son elementos detectores de termoluminiscencia, preferiblemente elementos detectores de termoluminiscencia de cristales de fluoruro de litio. Sin embargo, también pueden utilizarse otros materiales de termoluminiscencia. Los dos elementos detectores en sí mismos presentan el mismo comportamiento de respuesta para la radiación fotónica que va a medirse. Preferiblemente los dos elementos detectores son idénticos, sin embargo, también sería concebible utilizar un chip de ^6LiF y un chip de ^7LiF , porque éstos presentan el mismo comportamiento de respuesta para la radiación fotónica que va a medirse. Preferiblemente los elementos detectores en forma de chips de LiF están pegados en cada caso sobre una lámina de plástico delgada y por medio de la lámina de plástico se cuelgan en ventanas en un marco de aluminio de la tarjeta detectora. Sin embargo, los chips de LiF, según el fabricante de la tarjeta detectora, también pueden estar sujetos entre dos láminas de plástico. Los chips de LiF tienen por ejemplo un tamaño de aproximadamente 3 mm x 3 mm y un grosor de aproximadamente 0,5 mm. Tales tarjetas detectoras pueden obtenerse comercialmente, por ejemplo de la empresa Thermo Electron GmbH. La tarjeta detectora define por tanto un plano de tarjeta en el que los dos elementos detectores están dispuestos uno al lado de otro o uno sobre otro sobre la tarjeta detectora, con más precisión sujetos en ventanas de la tarjeta detectora. La disposición de cuerpo de dispersión y elementos detectores está construida esencialmente con simetría de espejo con respecto al plano de tarjeta, de modo que los dos elementos detectores para radiación fotónica son sensibles de la misma manera desde ambos lados del plano de tarjeta, para alcanzar una medición lo más independiente posible de la dirección de la radiación fotónica en un intervalo angular de casi 360°. En particular, el comportamiento de respuesta para radiación, que incide desde delante y atrás, con respecto a la tarjeta detectora, sobre el elemento detector, será lo más igual posible. En principio no se desea una determinada dependencia de la dirección con respecto al ángulo de incidencia con respecto a la normal del plano de tarjeta, por ejemplo perpendicular al plano de tarjeta en comparación con un ángulo de 75° con respecto a la normal, aunque es inevitable. Sin embargo, con la invención, esta dependencia de la dirección puede mantenerse reducida.

Según la invención, el primero de los dos elementos detectores está posicionado entre dos láminas de filtro, de modo que la radiación fotónica que incide sobre el primer elemento detector se filtra o bien por la lámina de filtro (anterior) o la otra lámina de filtro (posterior), en función de si la radiación fotónica incide desde delante o desde atrás sobre el primer elemento detector, estando configuradas las dos láminas de filtro igual con respecto a su efecto de filtro espectral, para conseguir para radiación fotónica desde delante y desde atrás el mismo efecto de filtro espectral. Por efecto de filtro espectral se entiende en el sentido de la invención que el efecto de filtro es una función de la energía es decir, se filtra de manera diferente en función de la energía. Las láminas de filtro espectrales son eficaces en particular para suprimir la radiación fotónica en el intervalo de energía por debajo de 30 keV con respecto a energías superiores, en particular entre 100 keV y 1 MeV, por tanto tienen en el intervalo de medición deseado un efecto de filtro espectral significativo y deseado sobre la radiación fotónica en el intervalo de medición en el que va a realizarse una dosimetría y no deben confundirse con las láminas de suspensión convencionales para los chips de LiF. Por tanto, las láminas de filtro cambian de manera controlada el espectro fotónico en perjuicio de las bajas energías por debajo de 30 keV. Por otro lado, las láminas de filtro no deben elegirse con una absorción demasiado fuerte, para dejar pasar todavía una intensidad suficiente de la radiación fotónica para la medición.

Es importante que sólo uno de los dos elementos detectores se encuentre entre las láminas de filtro mencionadas. Es decir, que el segundo de los dos elementos detectores no se encuentre entre las mismas láminas de filtro que el primer elemento detector, de modo que la radiación fotónica que incide sobre el segundo elemento detector presente otra distribución espectral que la radiación fotónica que incide sobre el primer elemento detector. En particular, en la distribución espectral de la radiación fotónica que incide sobre el primer elemento detector, se ha reducido el intervalo de energía entre 10 keV y 30 keV con respecto a las energías superiores, aunque preferiblemente todavía está presente de manera medible.

Es evidente que la invención también podría implementarse con diferentes láminas de filtro en ambos elementos detectores, por tanto no debería excluirse. Es importante que la radiación fotónica, que incide sobre el primer elemento detector, se filtra de otra manera que la radiación fotónica que incide sobre el segundo elemento detector, aunque a este respecto en cada caso independientemente de si la radiación incide desde delante o desde atrás sobre el elemento detector. En el caso más sencillo, por tanto en el segundo elemento detector no está prevista ninguna lámina de filtro (no debe confundirse con las láminas de suspensión), de modo que la radiación fotónica, que incide sobre el segundo elemento detector, se queda sin filtrar dentro del cuerpo de dispersión.

El que el segundo elemento detector no esté dispuesto entre las mismas láminas de filtro que el primer elemento detector significa por tanto que el segundo elemento detector i) o bien no está dispuesto entre láminas de filtro ii) o bien está dispuesto entre láminas de filtro con un efecto de filtro espectral significativamente diferente para la radiación fotónica que va a medirse que en el caso del primer elemento detector.

Así, de manera ventajosa con un dosímetro local pasivo de construcción muy sencilla puede cambiarse de manera dirigida el comportamiento de respuesta espectral por medio de la formación de una suma ponderada de los dos valores de medición de los dos elementos detectores. Esto es posible porque el primer y el segundo elemento detector debido al filtrado diferente miden dosis de radiación con una distribución espectral diferente. Así puede reproducirse la dependencia de la energía de la medición de la magnitud $H^*(10)$ por un intervalo de energía lo más grande posible de la manera más precisa posible.

Según una forma de realización preferida de la invención, el dosímetro local presenta un segundo par de elementos detectores sensibles a la radiación fotónica. Este segundo par está configurado preferiblemente idéntico al primer par y presenta también láminas de filtro anterior y posterior con respecto a uno de los dos elementos detectores, como en el caso del primer par. Así el primero de los dos elementos detectores del segundo par está posicionado entre dos láminas de filtro, de modo que la radiación fotónica que incide sobre el primer elemento detector del segundo par o bien se filtra por una lámina de filtro o por la otra lámina de filtro, en función de si la radiación fotónica incide desde delante o desde atrás sobre el primer elemento detector del segundo par, estando configuradas las dos láminas de filtro del primer elemento detector del segundo par igual con respecto a su efecto de filtro espectral, para conseguir para radiación fotónica desde delante y desde atrás el mismo efecto de filtro espectral. Además, las láminas de filtro del primer elemento detector del segundo par y las láminas de filtro del primer elemento detector del primer par también están configuradas igual con respecto a su efecto de filtro espectral. Además, el segundo de los dos elementos detectores del segundo par no está dispuesto entre las mismas láminas de filtro que el primer elemento detector del segundo par, de modo que la radiación fotónica que incide sobre el segundo elemento detector del segundo par presenta otra distribución espectral, es decir no se filtra o dado el caso se filtra de otra manera que en el caso de la radiación fotónica filtrada de manera espectral que incide sobre el primer elemento detector del segundo par.

La ventaja del diseño doble reside en que con dos pares de detectores configurados de manera idéntica pueden promediarse tanto los valores de medición de dosis de los primeros elementos detectores en cada caso de ambos pares como los valores de medición de dosis de los segundos elementos detectores en cada caso de ambos pares y a continuación se forma la suma ponderada a partir de los dos valores de medición promediados. A primera vista esto parece ser sencillo, sin embargo en el caso de las tarjetas detectoras utilizadas habitualmente tiene una ventaja particular con respecto a la independencia de la dirección de la medición. Concretamente los cuatro elementos detectores están dispuestos preferiblemente en una configuración cuadrada sobre la tarjeta, en concreto de modo que el primer elemento detector del primer par y el segundo elemento detector del segundo par se oponen diagonalmente. Dicho de otro modo, los dos pares se sitúan paralelos uno al lado de otro y los dos elementos detectores de cada par se sitúan en cada caso uno debajo de otro sobre la tarjeta detectora. Además, en general, el cuerpo de dispersión presenta preferiblemente una simetría de cilindro y el eje de simetría de rotación del cuerpo de dispersión discurre entre los dos pares, es decir, tanto entre los dos primeros elementos detectores como entre los dos segundos elementos detectores. Es decir, los dos pares se sitúan en cada caso (con simetría de espejo) al lado del eje de simetría. La tarjeta detectora, debido a su forma plana por naturaleza rompe la simetría de cilindro del dosímetro y así introduce una dependencia de la dirección no deseada en principio en el sistema. Sin embargo, la dependencia de la dirección producida por ello, en esta forma de realización, puede reducirse por el promediado entre los dos pares configurados idénticos a un lado y a otro del eje de simetría, tal como pudo comprobarse experimentalmente. Para ello, entre otras cosas, puede aprovecharse la circunstancia de que el trayecto, que recorre la radiación fotónica, con un ángulo oblicuo con respecto a la normal de la tarjeta a través del cuerpo de dispersión hacia los dos pares, es diferente, porque los pares con respecto a la radiación incidente de manera oblicua están dispuestos a un lado y a otro del eje de simetría.

Los cuatro elementos detectores están configurados preferiblemente como elementos detectores de termoluminiscencia idénticos, por ejemplo elementos detectores de termoluminiscencia de fluoruro de litio con cristales de ${}^6\text{LiF}$ o cristales de ${}^7\text{LiF}$. Sin embargo también es posible una combinación de cristales de ${}^6\text{LiF}$ o cristales de ${}^7\text{LiF}$ tal como se explicó anteriormente.

El cuerpo de dispersión está compuesto preferiblemente por un material de elementos con un número atómico Z más bajo, preferiblemente no superior a $Z = 6$, es decir carbono. De otro modo, dado el caso, la sección de absorción se vuelve demasiado grande. Por tanto se prefieren polímeros, que exclusivamente están compuestos por átomos de carbono e hidrógeno o en cualquier caso presentan un porcentaje reducido de elementos superiores. Preferiblemente el cuerpo de dispersión está fabricado por tanto por un plástico, que está compuesto esencialmente sólo por átomos de carbono e hidrógeno. Por tanto, se consideran poliolefinas (no halogenadas), en particular polietileno. Por tanto el cuerpo de dispersión está fabricado preferiblemente por una poliolefina. En una forma de realización el cuerpo de dispersión presenta un diámetro de $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.

El cuerpo de dispersión tiene preferiblemente una forma con simetría de rotación en al menos un plano transversal al plano de tarjeta. Se prefiere especialmente un cilindro circular en cuyo centro, de manera simétrica al eje de simetría de rotación, está dispuesta la tarjeta detectora, estando dispuestos los dos pares con simetría de espejo con respecto al eje. Sin embargo, también son concebibles otras formas, en particular con una simetría aún superior, por ejemplo una esfera o un cilindro circular redondeado. El diámetro del cilindro circular asciende preferiblemente a $50 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, lo que supone un buen compromiso entre el comportamiento de dispersión y de absorción del cuerpo de dispersión.

Según una forma de realización especialmente preferida, el cuerpo de dispersión está dividido a lo largo del plano de la tarjeta detectora en dos mitades separadas; en el caso del cilindro circular, por tanto, preferiblemente a lo largo del eje de simetría. Al menos una de las dos mitades, preferiblemente ambas, presentan un rebaje fresado, en el que se incrusta la tarjeta detectora, para en el estado operativo estar completamente rodeada por el elemento de dispersión. Para poder insertar y extraer la tarjeta detectora fácilmente, las dos mitades de cilindro pueden moverse entre un estado abierto y un estado operativo cerrado una respecto a otra. En el estado operativo cerrado, las dos

mitades se unen de manera separable entre sí, por ejemplo se atornillan y por tanto, los rebajes fresados forman una cavidad interna cerrada por todos los lados, en la que está incrustada la tarjeta detectora. De manera especialmente preferida, las dos mitades están unidas de manera que pueden girar una respecto a otra alrededor de un eje perpendicular al plano de tarjeta, es decir a lo largo de la sección entre las dos mitades, para encerrar la tarjeta detectora en la cavidad del cuerpo de dispersión cerrada por todos los lados en el estado operativo, y poder insertar y extraer la tarjeta detectora en el estado abierto. En caso deseado, las dos mitades pueden rodearse en el estado operativo todavía por una funda protectora, que evita la penetración de agua y suciedad en el intersticio entre las dos mitades. La funda protectora también deberá estar compuesta por un plástico esencialmente sólo por elementos con un Z bajo, por ejemplo también por una poliolefina, en particular polietileno, y ser lo más delgada posible para no afectar a la medición en la medida de lo posible o presentar ventanas correspondientes. En particular es ventajoso no prever un manguito de metal o aluminio alrededor del cuerpo de dispersión, porque éste afectaría al resultado debido a sus propiedades de absorción para la radiación fotónica.

Se prefiere especialmente fijar las láminas de filtro en los lados internos de las mitades del cuerpo de dispersión, concretamente en los puntos entre los que llegan a disponerse los dos primeros elementos detectores de los dos pares, cuando la tarjeta detectora está incrustada en el estado operativo en la cavidad entre las dos mitades. Es ventajoso, que las láminas de filtro al extraer la tarjeta detectora permanezcan fijadas al cuerpo de dispersión, ya que hay que retirarlas de las mismas para leer los chips detectores de termoluminiscencia.

Las láminas de filtro están compuestas preferiblemente por un material con un número atómico mayor o igual a 12. Es necesario al menos un Z más alto que para el del cuerpo de dispersión, para garantizar una función de filtro espectral suficiente. Ha resultado especialmente adecuada una lámina de cobre (Z = 29), no obstante también pueden utilizarse por ejemplo otros metales o materiales. Por tanto, las láminas de filtro son preferiblemente láminas metálicas.

Si se utilizan láminas de cobre, así su grosor preferido se encuentra preferiblemente en el intervalo de desde 10 μm hasta 1000 μm, de manera especialmente preferida entre 25 μm y 100 μm. En este intervalo se considera que la relación del efecto de filtro espectral y la absorción es óptima.

Si se utilizan otros materiales, puede calcularse su grosor según la siguiente fórmula:

$$d = \frac{Z_{Cu}^4}{Z^4} d_{Cu} \quad (1)$$

donde Z_{Cu} es el número atómico del cobre, Z es el número atómico (dado el caso medio) del material de lámina, y d_{Cu} se encuentra entre 10 μm y 1000 μm, de manera especialmente preferida entre 25 μm y 100 μm.

La invención se refiere además a un procedimiento para medir la dosis equivalente ambiental $H^*(10)$ de radiación fotónica en un intervalo de energía de desde 10 keV hasta 10 MeV con un dosímetro local con las siguientes etapas: proporcionar el dosímetro local en un lugar fijado con un nivel de radiación elevado, sin depender del ángulo de giro del dosímetro local,

irradiar el dosímetro local en el lugar fijado con radiación fotónica en el intervalo de energía en el que va a realizarse una dosimetría de desde 10 keV hasta 10 MeV durante una duración de tiempo determinada de desde normalmente algunos días, semanas o meses, es decir se realiza una medición de almacenamiento, sin resolución en el tiempo, en la que los elementos detectores acumulan la radiación fotónica durante la duración de tiempo. A este respecto inicialmente se dispersa la radiación fotónica para todos los elementos detectores desde el cuerpo de dispersión circundante y entonces se filtra adicionalmente la radiación fotónica que incide sobre el primer elemento detector, o los primeros elementos detectores de los dos pares, desde las láminas de filtro dispuestas directamente delante y detrás del primer elemento detector o de los dos primeros elementos detectores.

Tras finalizar la duración de la medición se extrae la tarjeta detectora del cuerpo de dispersión y se lee con un dispositivo de lectura separado. A este respecto el primer y segundo elemento detector se leen por separado y se determina un primer valor de medición para la dosis de radiación sobre el primer elemento detector y un segundo valor de medición para la dosis de radiación sobre el segundo elemento detector.

A continuación se forma una suma ponderada a partir del primer y segundo valor de medición, con factores de ponderación predefinidos, siendo los factores de ponderación constantes predefinidas, que dependen del grosor y del material de las láminas de filtro. La suma ponderada Σ_{GW} se calcula preferiblemente según la siguiente fórmula:

$$\Sigma_{GW} = f_1 \cdot MW_{PE+Cu} + f_2 \cdot MW_{PE} \quad (2)$$

donde MW_{PE+Cu} es el primer valor de medición, concretamente el del primer elemento detector entre las láminas de

filtro (de cobre), MW_{PE} el segundo valor de medición, concretamente el del segundo elemento detector sin láminas de filtro, f_1 es el factor de ponderación para el primer valor de medición y f_2 es el factor de ponderación para el segundo valor de medición. Además se aplica que $f_1+f_2=1$, para mantener la normalización.

5 La suma ponderada calculada de este modo se utiliza finalmente como valor de medición para la dosis equivalente ambiental $H^*(10)$.

10 En el caso del diseño de la tarjeta detectora con dos pares de detectores se leen por separado de la misma manera los cuatro elementos detectores y se promedian los dos valores de medición de los dos primeros elementos detectores del primer y segundo par. Además se promedian los dos valores de medición de los dos segundos elementos detectores del primer y segundo par. En este caso se utilizan los valores de medición promediados para la formación de la suma ponderada. Este procedimiento puede conducir a una mejora de la independencia de la dirección del dosímetro local.

De manera no exhaustiva campos de aplicación del dosímetro local según la invención son la medición de radiación gamma y radiación de rayos X en aceleradores lineales (por ejemplo UNILAC de la solicitante), fuentes de iones, láseres con pulsos de láser ultracortos (por ejemplo Phelix de la solicitante) así como en equipos de terapia iónica.

15 A continuación se explicará más detalladamente la invención mediante un ejemplo de realización y haciendo referencia a las figuras.

Breve descripción de las figuras

Los dibujos muestran:

20 La figura 1, una representación esquemática de una tarjeta detectora de termoluminiscencia con cuatro elementos detectores en vista frontal,

La figura 2, una representación fotográfica del dosímetro equivalente ambiental $H^*(10)$ según la invención con las mitades del cilindro separadas, es decir en estado completamente abierto con una tarjeta detectora del tipo TLD 7777,

La figura 3, una representación en corte esquemática a través del dosímetro local transversal al plano de tarjeta,

25 La figura 4, una representación esquemática de las dos mitades del cilindro separadas sin tarjeta detectora en vista frontal en sus lados internos,

La figura 5, una representación esquemática de las dos mitades del cilindro en la posición abierta girada sin tarjeta detectora,

30 La figura 6, una representación en corte esquemática de un modelo del dosímetro local, que visualiza la irradiación no filtrada y filtrada del primer y segundo elemento de medición de un par,

La figura 7, el resultado de un cálculo de simulación para un chip TLD sin cuerpo de dispersión,

La figura 8, el resultado de un cálculo de simulación para un chip TLD con cuerpo de dispersión, pero sin lámina de filtro,

35 La figura 9, los resultados de cálculos de simulación con el programa FLUKA a un ángulo de 0° con respecto a la normal del detector,

La figura 10, los resultados de cálculos de simulación con el programa FLUKA a un ángulo de 75° con respecto a la normal del detector,

La figura 11, los resultados de los cálculos de simulación con el programa FLUKA de las figuras 8 y 9 para la suma ponderada a 0° y 75° .

40 Descripción detallada de la invención

45 Con referencia a la figura 1 la tarjeta 2 detectora de termoluminiscencia (tarjeta TLD) presenta una forma alargada esencialmente rectangular y presenta las siguientes dimensiones: 4,3 cm x 3,1 cm x 0,1 cm (longitud x anchura x altura). La tarjeta 2 detectora tiene cuatro chips 12, 14, 22, 24 de fluoruro de litio-7 (^7LiF) dotados con magnesio y titanio como elementos detectores. Los elementos detectores separados están soldados en este ejemplo en cada caso en láminas 16 de PTFE (Teflon®, nombre comercial de DuPont) y en cada caso fijados en una ventana 18 en un marco de aluminio. Los elementos detectores también pueden estar pegados por un lado sobre láminas 16 de suspensión correspondientes. Los elementos 12, 14, 22, 24 detectores separados están agrupados además en dos pares 10, 20 paralelos distanciados, estando dispuestos los dos elementos detectores distanciados de cada par 10, 20 en cada caso uno bajo el otro, en este ejemplo a lo largo del lado longitudinal de la tarjeta 2 detectora. Para una
50 identificación precisa cada tarjeta 2 TLD tiene un código 4 de barras representativo (véase la figura 2). La esquina 6

aplanada sirve para la orientación correcta en el soporte del aparato de evaluación (el denominado "lector", no representado), en el que los elementos detectores se leen por separado. En este caso se utilizaron tarjetas TLD del tipo 7777 de la empresa Thermo Electron GmbH.

5 En caso de calentamiento, por ejemplo mediante una corriente de nitrógeno caliente o una varilla de calentamiento se excitan de nuevo los electrones libres depositados en las trampas de los cristales de termoluminiscencia, mediante lo cual vuelven a entrar en la banda de valencias. A este respecto emiten fotones, que se detectan por un tubo fotomultiplicador de electrones (fotomultiplicador) en el lector. La frecuencia de los fotones emitidos depende a este respecto de la temperatura, ya que las trampas se encuentran a profundidades distintas. Anotando la intensidad de fotones frente a la temperatura, se obtienen las denominadas curvas de brillo por medio de las que puede
10 determinarse la radiación fotónica sometida a dosimetría.

Se utilizan dos lectores del tipo 8800 o 6600 del fabricante Harshaw y su empresa sucesora Harshaw-Bicron. Esencialmente el modo de funcionamiento de los dos lectores es el mismo. Tienen cada uno un soporte para cargarlo con las tarjetas TLD y un soporte para tarjetas ya leídas. Los dos sistemas están dotados cada uno con un ordenador separado, una impresora y un escáner de códigos de barras integrado para identificar las tarjetas TLD.

15 El experto en la técnica conoce fundamentalmente la utilización y la evaluación de tarjetas detectoras TLD, de modo que no se necesita profundizar más a este respecto.

Las tarjetas 2 TLD con chips 12, 14, 22, 24 de LiF son adecuadas para mediciones en el intervalo de energía de desde 100 keV hasta 1 MeV, cuando la calibración hace referencia a la magnitud de medida $H^*(10)$. No obstante este intervalo no cubre el intervalo de baja energía deseado por debajo de 100 keV, que en la práctica es relevante por ejemplo en fuentes de iones en aceleradores, en los que puede producirse precisamente esta radiación fotónica de baja energía.
20

En primer lugar se utiliza un cuerpo 30 de dispersión de polietileno (PE), en el que se incrusta la tarjeta 2 detectora. El cuerpo 30 de dispersión proporciona las contribuciones de dispersión necesarias, para que el dosímetro 1 también pueda usarse para el intervalo de baja energía como dosímetro equivalente ambiental $H^*(10)$. Sin embargo se ha comprobado, que la utilización de un cuerpo 30 de dispersión de PE solo todavía no es suficiente para conseguir en particular en el intervalo de desde 10 keV hasta 30 keV la precisión deseada.
25

Con referencia a la figura 2 se representa el dosímetro 1 local según la invención en forma completamente abierta. En primer lugar la presente invención utiliza un cuerpo 30 de dispersión de PE en forma de cilindro, que está cortado por el medio y de esta manera se descompone en dos mitades 32a, 32b iguales del cilindro. El cilindro 30 de PE tiene un diámetro de 5 cm y una altura de 6 cm. Un entrante 36a, 36b fresado central en las dos mitades 32a, 32b aporta el espacio necesario para la tarjeta 2 TLD, que se inserta en el rebaje así producido. Por medio de dos tornillos de plástico a través de perforaciones 42a y roscas 42b se unen las dos mitades 32a, 32b del cilindro de manera separable entre sí y se cierra temporalmente la cavidad formada por los dos rebajes. Alternativamente puede dotarse el cilindro 30 de PE de una caja de llenado lateral, en la que se introduce la tarjeta 2 TLD. El dosímetro local todavía puede dotarse de monturas de suspensión en el cuerpo 30 de dispersión de PE, que posibilitan la medición de manera libre en el aire.
30
35

En los rebajes 36, 36b, de las dos mitades 32a, 32b del cilindro están pegadas láminas 52a, 52b, 62a, 62b de cobre de 50 μ m de grosor a la altura de los dos chips 12, 22 de termoluminiscencia superiores de la tarjeta 2 TLD. Ahora la capacidad de respuesta mejorada según la invención puede conseguirse a partir de valores de medición ponderados de los dos pares 10, 20 de chips TLD.
40

En la mitad 32a de cilindro representada a la izquierda están pegadas de la misma manera dos láminas de cobre de 50 μ m de grosor, que sin embargo en la representación de la figura 2 se tapan por la tarjeta 2 TLD.

Con referencia a la figura 3, la tarjeta 2 detectora está incrustada en una cavidad 37 central, teniendo que atravesar la radiación fotónica que incide desde fuera el cuerpo de dispersión de PE a lo largo de una longitud significativa, según el ángulo con respecto a la normal de la tarjeta N, aproximadamente entre 20 mm y 34 mm.
45

Con referencia a la figura 4 las láminas 52a, 52b, 62a, 62b de filtro están fijadas en cada caso en el lado 38a, 38b interno de cada una de las dos mitades 32a, 32b del cuerpo de dispersión, concretamente en el rebaje respectivo para la tarjeta 36a, 36b detectora. Las láminas 52a, 52b, 62a, 62b de filtro están dispuestas en el interior del cuerpo de dispersión de manera simétrica al eje de simetría S del cuerpo 30 de dispersión en la mitad superior. Por consiguiente los dos primeros chips 12, 22 TLD superiores están encerrados a modo de sándwich en el estado ensamblado en cada caso entre dos láminas 52a, 52b o 62a, 62b de filtro de cobre, cubriendo las láminas 52a, 52b, 62a, 62b de filtro de cobre los dos primeros chips 12, 22 TLD por los dos lados completamente. Los dos segundos chips 14, 24 TLD, inferiores no están dispuestos entre láminas de filtro. Las secciones 38a, 38b y la tarjeta 2 detectora forman un plano de simetría, en el que se encuentra la tarjeta 2 detectora, que por consiguiente coincide con el plano de tarjeta E. Las láminas 52a, 52b, 62a, 62b de filtro están dispuestas sobre las dos mitades 32a, 32b del cilindro en cada caso a la izquierda y a la derecha del eje de simetría, en particular simétricas a éste.
50
55

La figura 5 muestra las dos mitades 32a, 32b del cuerpo de dispersión en relación con el estado operativo giradas

180° alrededor del eje de giro, para introducir y extraer la tarjeta 2 detectora.

La figura 6 muestra una representación en corte (no a escala y esquemática) perpendicular al plano de tarjeta E y en paralelo al eje de simetría S a través del primer chip 12 TLD filtrado y del segundo 14 no filtrado de uno de los dos pares de un modelo del dosímetro 1 local cerrado. La radiación fotónica P que va a someterse a dosimetría atraviesa en primer lugar para los dos chips 12, 14 TLD el cuerpo 30 de dispersión de PE común. Tras esto la radiación incide sin filtrar (menos el cuerpo de dispersión de PE) sobre el segundo chip 14 TLD (izquierda) y filtrada a través de la lámina 52a de filtro de cobre anterior sobre el primer chip 12 TLD dispuesto en esta representación al lado (derecha).

En primer lugar se realizan cálculos de simulación para la capacidad de respuesta a la dosis con el programa de simulación EGS4.

Con el fin de simplificar en primer lugar se desarrolló un modelo cilíndrico. En el centro del dosímetro se encuentran los elementos detectores sensibles a la radiación fotónica, que están rodeados por el cuerpo 30 de dispersión de PE. Un chip 12, 14 TLD se modela en este ejemplo con un volumen de detección de $8,55 \text{ mm}^3$. El transporte de los fotones P se realiza desde la energía de partida (10 keV a 10 MeV) hacia abajo hasta energías de 5 keV. Se observa el transporte de los electrones hasta una energía cinética de 12 keV. No se prescinde del transporte de electrones, ya que los electrones pueden transportarse fuera del volumen eficaz del detector. Esto puede compensarse parcialmente, porque en el volumen de detección se transportan electrones. Sin embargo, sobre todo en el caso de irradiaciones con energías fotónicas superiores esto debe calcularse con precisión, ya que el cuerpo 30 de dispersión y el elemento 12, 14 detector están compuestos por materiales diferentes. Las señales se calculan como KERMA (=energía cinética liberada en la materia). La cadena de evaluación con los procesos de calentamiento en gas, la emisión de luz y la captación de luz del fotomultiplicador no se tienen en cuenta en detalle en el cálculo. Sólo la energía de deposición sirve como medida para la señal registrada. Durante el transporte de radiación se calcula por fotón primario la energía de deposición en el elemento TLD y se dispone en un histograma. A partir del histograma se calcula la energía de deposición total por fotón incidente.

Con el fin de mejorar la eficacia de cálculo, se calcula el volumen eficaz del chip TLD modelado con un volumen mayor ($6,7 \text{ mm}^3$ u $8,55 \text{ mm}^3$), como el chip 12, 14 TLD real ($0,39 \text{ mm}^3$ a $0,91 \text{ mm}^3$). Sin embargo la dependencia de la energía principal de la capacidad de respuesta del dosímetro 1 no se describe de manera errónea mediante esta simplificación en el cálculo. Estos cálculos se normalizan según la respuesta para la radiación gamma de una fuente de ^{137}Cs (661 keV).

En primer lugar se calcula como referencia el caso con los elementos 12, 14 TLD sin cuerpo 30 de dispersión. Puede observarse el resultado en la figura 7.

Por tanto la figura 7 muestra un resultado del cálculo de simulación para la capacidad de respuesta a la dosis. La línea 72 trazada muestra la $H^*(10)$ -ICRU57 normalizada y los puntos 74 muestran los valores del resultado simulados para el chip TLD solo, es decir sin cuerpo 30 de dispersión y sin lámina 52a, 52b, 62a, 62b de filtro. La capacidad 74 de respuesta calculada en relación con la magnitud $H^*(10)$ se representa en el intervalo de energía de desde 15 keV hasta 10 MeV. Puede reconocerse que los valores 74 de simulación por debajo de 100 keV y por encima de 1 MeV se desvían considerablemente de la curva 72 normalizada $H^*(10)$. En particular con energías menores de 100 keV se produce una sobreestimación de la dosis hasta dos órdenes de magnitud, mientras que para energías mayores de 1 MeV a medida que aumenta la energía se produce una subestimación de la dosis.

La figura 8 muestra el resultado del cálculo de simulación para un chip 14 TLD con un cuerpo 30 de dispersión de PE con un radio de 24,0 mm ($0,92 \text{ g/cm}^3$) alrededor del chip 14 TLD. Los valores de simulación se indican con 76. Para el intervalo de energía de desde 10 keV hasta aproximadamente 2 MeV se obtiene para la capacidad de respuesta ya una conformidad relativamente buena con el desarrollo de la función de conversión de la dosis relativa para $H^*(10)$, representada con 72.

No obstante debe observarse que todavía se produce una sobreestimación de la dosis en el intervalo de energía de desde aproximadamente 20 keV hasta 40 keV. A partir de aproximadamente 3 MeV se produce una subestimación de la indicación de la dosis, no obstante más baja que en el caso del chip TLD sin cuerpo de dispersión. Debe observarse, que las desviaciones debidas a la representación logarítmica doble en la figura 8 tienen un efecto relativamente pequeño, pero todavía significan una precisión de medición no satisfactoria. Estas desviaciones pueden mejorarse con la invención.

Para la simulación adicional se realizaron cálculos de simulación mejorados con el programa FLUKA y se verificaron mediante mediciones de ensayo experimentales. Los resultados de los cálculos de simulación se representan en las figuras 9-11.

La figura 9 muestra los resultados de los cálculos 84, 88 de FLUKA a 0°, es decir en paralelo con respecto a la normal N de la tarjeta 2 detectora. Sobre el eje Y se representa la capacidad de respuesta relativa, normalizada a Cs-137 como función de la energía de la radiación fotónica (eje X). Los cálculos se han realizado en cada caso para el chip TLD en el cuerpo 30 de dispersión de PE una vez con y una vez sin láminas 52a, 52b, 62a, 62b de filtro de cobre (50 μm). También en este caso, en la curva 84 sin láminas de filtro puede reconocerse una elevación en el

intervalo de energía por debajo de aproximadamente 40 keV, que en el máximo en aproximadamente 20 keV asciende a más de un factor 1,6. A diferencia de esto, la curva 88 con las láminas de filtro de cobre muestra una clara subestimación en el intervalo de energía por debajo de 40 keV. Así, las láminas de filtro suprimen la capacidad de respuesta relativa en el intervalo de energías fotónicas más bajas con respecto a las energías fotónicas más altas, comenzando la supresión con una “energía límite” E_x de los fotones. La energía límite E_x debe situarse entre 15 keV y 100 keV. En este ejemplo se aplica por ejemplo $E_x = 30$ keV. Es decir, las láminas de filtro se eligen de modo que la capacidad de respuesta relativa del chip 12 TLD filtrado en el intervalo entre la energía límite E_x y al menos el valor normalizado Cs-137 discurre de manera relativamente plana y por debajo de la energía límite E_x cae considerablemente.

La figura 10 muestra resultados correspondientes a la figura 9, aunque a un ángulo de 75° con respecto a la normal de la tarjeta detectora. También en este caso para los valores 94 sin lámina de filtro de cobre se reconoce una elevación clara por debajo de 40 keV, que con 10 keV incluso asciende a casi el 100%. Los valores 98 con lámina de filtro de cobre muestran un desarrollo algo más plano que a 0°.

Ahora, según la invención se suman los valores del cálculo de simulación con láminas 88 ó 98 láminas de filtro de cobre (MW_{PE+Cu}) y los valores del cálculo de simulación sin láminas 84 ó 94 de filtro de cobre (MW_{PE}) mediante la siguiente ecuación de manera ponderada:

$$\sum_{GW} = 0,45 \cdot MW_{PE+Cu} + 0,55 \cdot MW_{PE} \quad (3)$$

es decir, los factores de ponderación son $f_1 = 0,45$ y $f_2 = 0,55$.

La figura 11 muestra las curvas resultantes de las sumas ponderadas calculadas según la ecuación (3) de los resultados de ensayo de la figura 9 y la figura 10, es decir tanto para un ángulo de 0° con respecto a la normal N (número de referencia: 104) como para un ángulo de 75° con respecto a la normal N (número de referencia: 108). La suma ponderada puede designarse también como “capacidad de respuesta ponderada” del dosímetro local según la invención. Por tanto, sobre el eje Y se representa la capacidad de respuesta relativa, ponderada normalizada a Cs-137 como función de la energía de la radiación fotónica (eje X) para 0° 104 y para 75° 108.

Puede reconocerse que la capacidad 104 de respuesta ponderada a 0°, en todo el intervalo de energía entre 10 keV y aproximadamente 3 MeV difiere en como máximo aproximadamente el 25% con respecto a la norma y en particular, en el intervalo de energía por debajo de 30 keV presenta una desviación claramente inferior que la curva 84 con cuerpo de dispersión de PE pero sin lámina de filtro en la figura 9.

Con respecto a los resultados 108 a 75° puede reconocerse una precisión aún mejor. La desviación a 75° asciende a entre 20 keV y 40 keV a menos del 10% y entre 10 keV y 20 keV a menos del 20%.

El efecto de filtro espectral de las láminas de filtro se elige por tanto de modo que la capacidad de respuesta normalizada y ponderada de los dos elementos 12, 14 detectores de un par 10 (con factores de ponderación adaptados de manera correspondiente) al menos en el intervalo de desde 10 keV hasta 30 keV se sitúa más cerca de uno (preferiblemente con una desviación de menos del 30% para determinados ángulos, por ejemplo 0° y/o 75°), que la capacidad de respuesta relativa del segundo elemento 14 detector sin lámina 52a, 52b de filtro, es decir sólo con cuerpo 30 de dispersión.

Es evidente que la medición sólo se realiza en un experimento de ensayo de este tipo de manera selectiva con respecto al ángulo. En el funcionamiento real se miden todos los ángulos al mismo tiempo y no se diferencian, de modo que el dosímetro 1 local bajo todos los posibles ángulos de desde 0° hasta 360° posibilitará una medición lo más precisa posible. Los resultados de ensayo prueban que la invención a este respecto ofrece ventajas con respecto a una medición exclusivamente sólo con un cuerpo 30 de dispersión de PE.

En resumen puede decirse que las tarjetas 2 de chip de LiF de dosímetro habituales son adecuadas para medir correctamente la radiación en un intervalo de energía de desde 100 keV hasta 1 MeV, cuando la calibración se refiere a la magnitud $72 \text{ H}^*(10)$. Cuando se utiliza el dosímetro 1 en fuentes de radiación para radiación de rayos X, no obstante, en algunos casos puede partirse de que una parte considerable de la dosis total se produce por fotones con energías menores de 30 keV. Tampoco el uso de un cuerpo de dispersión de PE proporciona todavía la precisión deseada para ello. Además, en un acelerador hay a menudo una radiación gamma con energías mayores de 1,3 MeV. Ahora, el dosímetro 1 local según la invención puede medir radiación de rayos X y gamma también en estos intervalos de energía con una precisión mejorada. Para ello adicionalmente al cuerpo de dispersión se colocan láminas 52a, 52b, 62a, 62b de filtro espectrales delante y detrás de los primeros chips 12, 22 TLD. El cuerpo 30 de dispersión está compuesto por polietileno, cuyo grosor de capa (radio de cilindro) asciende a al menos 24 mm por los chips TLD. La lámina 52a, 52b, 62a, 62b de filtro está configurada por ejemplo como lámina de cobre de 50 μm de grosor y se coloca sobre en cada caso sólo un chip 12, 22 TLD de cada par 10, 20 de chips TLD, de modo que este chip 12, 22 TLD presenta una capacidad de respuesta menor sobre todo con energías fotónicas pequeñas. La suma ponderada de los valores de medición de ambos chips 12, 14 ó 22, 24 TLD de cada par proporciona entonces una capacidad de respuesta optimizada.

REIVINDICACIONES

1.- Dosímetro (1) local para medir la dosis equivalente ambiental ($H^*(10)$) de radiación fotónica (P) que comprende:

5 un cuerpo (30) de dispersión para la radiación fotónica (P), que proporciona contribuciones de dispersión para el intervalo de baja energía de la radiación fotónica, una tarjeta (2) detectora incrustada en el cuerpo (30) de dispersión con al menos un primer par (10) de elementos (12, 14) detectores sensibles a la radiación fotónica con el mismo comportamiento de respuesta para la radiación fotónica (P) que va a medirse,

10 definiendo la tarjeta (2) detectora un plano de tarjeta (E), y estando dispuestos los dos elementos (12, 14) detectores uno al lado de otro o uno sobre otro en el plano de tarjeta (E) sobre la tarjeta (2) detectora, y estando construida la disposición de cuerpo (30) de dispersión y elementos (12, 14) detectores esencialmente con simetría de espejo con respecto al plano de tarjeta (E), de modo que los dos elementos (12, 14) detectores son sensibles a la radiación fotónica desde ambos lados del plano de tarjeta (E) de la misma manera, para conseguir una medición de la radiación fotónica (P) en un intervalo angular de casi 360°,

15 caracterizado porque,

20 adicionalmente al cuerpo (30) de dispersión que proporciona contribuciones de dispersión para el intervalo de baja energía están dispuestas dos láminas (52a, 52b) de filtro espectrales que cambian el espectro fotónico en perjuicio de las energías por debajo de 30 keV, en el interior del cuerpo (30) de dispersión, de tal manera que

25 el primero (12) de los dos elementos detectores está posicionado entre las dos láminas (52a, 52b) de filtro, de modo que la radiación fotónica (P) que incide sobre el primer elemento (12) detector o bien se filtra por la lámina (52a) de filtro o bien por la otra lámina (52b) de filtro, en función de si la radiación fotónica (P) incide desde delante o desde atrás sobre el primer elemento (12) detector, estando configuradas las dos láminas (52a, 52b) de filtro igual con respecto a su efecto de filtro espectral, para conseguir para radiación fotónica (P) desde delante y desde atrás el mismo efecto de filtro espectral, y

30 porque el segundo de los dos elementos (14) detectores no está dispuesto entre las mismas láminas (52a, 52b) de filtro que el primer elemento (12) detector,

de modo que la radiación fotónica (P) dispersada por el cuerpo (30) de dispersión y filtrada de manera espectral por una de las dos láminas (52a, 52b) de filtro que incide sobre el primer elemento (12) detector en particular con energías entre 10 keV y 30 keV presenta otra distribución espectral que la de la radiación fotónica (P) dispersada por el cuerpo (30) de dispersión que incide sobre el segundo elemento (14) detector.

2.- Dosímetro (1) local según la reivindicación 1,

35 en el que la tarjeta (2) detectora presenta un segundo par (20) de elementos (22, 24) detectores sensibles a la radiación fotónica idéntico al primer par (10),

40 en el que el primero de los dos elementos (22) detectores del segundo par (20) está posicionado entre dos láminas (62a, 62b) de filtro, de modo que la radiación fotónica (P) que incide sobre el primer elemento (22) detector del segundo par 20 se filtra o bien por la lámina (62a) de filtro o bien por la otra lámina (62b) de filtro, en función de si la radiación fotónica (P) incide desde delante o desde atrás sobre el primer elemento (22) detector del segundo par (20), estando configuradas las dos láminas (62a, 62b) de filtro del primer elemento (22) detector del segundo par (20) igual con respecto a su efecto de filtro espectral, para conseguir para radiación fotónica (P) desde delante y desde atrás el mismo efecto de filtro espectral, y en el que las láminas (62a, 62b) de filtro del primer elemento (22) detector del segundo par (20) y las láminas (52a, 52b) de filtro del primer elemento (12) detector del primer par (10) están configuradas igual con respecto a su efecto de filtro espectral,

45 en el que el segundo (24) de los dos elementos detectores del segundo par (20) no está dispuesto entre las mismas láminas (62a, 62b) de filtro que el primer elemento (22) detector del segundo par (20), de modo que la radiación fotónica (P) que incide sobre el segundo elemento (24) detector del segundo par (20) presenta otra distribución espectral que la radiación fotónica (P) filtrada de manera espectral que incide sobre el primer elemento (22) detector del segundo par (20).

3.- Dosímetro (1) local según la reivindicación 1 ó 2, en el que los elementos (12, 14, 22, 24) detectores son elementos detectores de termoluminiscencia y/o en el que el cuerpo (30) de dispersión está fabricado de un plástico, que esencialmente sólo está compuesto por átomos de carbono e hidrógeno.

4.- Dosímetro (1) local según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo (30) de dispersión en al

menos un plano transversal al plano de tarjeta (E) tiene simetría de rotación.

5.- Dosímetro (1) local según la reivindicación 2 y 4, en el que el primer y segundo par (10, 20) de elementos (12, 14, 22, 24) detectores están dispuestos con simetría de espejo con respecto al eje del cilindro (S).

5 6.- Dosímetro (1) local según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo (30) de dispersión está dividido a lo largo del plano de tarjeta (E) en dos mitades (32a, 32b), pudiendo moverse las dos mitades (32a, 32b) entre un estado abierto y un estado operativo cerrado una respecto a otra, en el que las dos mitades (32a, 32b) en el estado operativo cerrado están unidas entre sí de manera separable y forman una cavidad interna, en la que está incrustada la tarjeta (2) detectora, y en el que la tarjeta (2) detectora en el estado abierto puede insertarse y extraerse.

10 7.- Dosímetro (1) local según la reivindicación 6, en el que las dos mitades (32a, 32b) están unidas entre sí de manera que pueden girar alrededor de un eje perpendicular al plano de tarjeta (E) y pueden girarse entre el estado abierto y el estado operativo cerrado una respecto a otra para encerrar la tarjeta (2) detectora en la cavidad del cuerpo (30) de dispersión cerrada por todos los lados en el estado operativo, y poder insertar y extraer la tarjeta (2) detectora en el estado abierto.

15 8.- Dosímetro (1) local según la reivindicación 6 ó 7, en el que las dos láminas (52a, 52b) de filtro en, en cada caso, una de las dos mitades (32a, 32b) están fijadas en puntos entre los que llega a disponerse el primer elemento (12) detector, cuando en el estado operativo está incrustado en la cavidad entre las dos mitades (32a, 32b).

9.- Dosímetro (1) local según la reivindicación 6, 7 u 8, en el que las dos mitades (32a, 32b) en el estado operativo están rodeadas por una funda protectora esencialmente ineficaz de manera espectral.

20 10.- Dosímetro (1) local según la reivindicación 9, en el que la funda protectora está compuesta por plástico.

11.- Dosímetro (1) local según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo (30) de dispersión no está rodeado por una carcasa de metal.

12.- Dosímetro (1) local según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las láminas (52a, 52b, 62a, 62b) de filtro están fabricadas por un material con un número atómico mayor o igual a 12.

25 13.- Procedimiento para medir la dosis equivalente ambiental ($H^*(10)$) de radiación fotónica (P) en un intervalo de energía de desde 10 keV hasta 10 MeV con un dosímetro (1) local, en particular según una de las reivindicaciones anteriores, proporcionar el dosímetro (1) local en un lugar fijado expuesto a radiación, en el que el dosímetro (1) local comprende un cuerpo (30) de dispersión para la radiación fotónica (P) y una tarjeta (2) detectora con un par (10) de elementos (12, 14) detectores sensibles a la radiación fotónica con el mismo comportamiento de respuesta para la radiación fotónica (P) que va a medirse en el interior del cuerpo (30) de dispersión, en el que el primero (12) de los dos elementos detectores está posicionado entre dos láminas (52a, 52b) de filtro, irradiar el dosímetro (1) local en el lugar fijado con radiación fotónica (P) en el intervalo de energía de al menos 10 keV a 10 MeV durante una duración de tiempo determinada, en el que la radiación fotónica (P) que incide sobre el primer elemento (12) detector se filtra por las láminas (52a, 52b) de filtro dispuestas delante y detrás del primer elemento (12) detector, leer el dosímetro (1) local tras la duración de tiempo de la irradiación, en el que el primer (12) y segundo elemento (14) detector se leen por separado, y se determina un primer valor de medición para la dosis de radiación sobre el primer elemento (12) detector y un segundo valor de medición para la dosis de radiación sobre el segundo elemento (14) detector, formar una suma ponderada Σ_{GW} a partir del primer y segundo valor de medición, con factores de ponderación predefinidos f_1 , f_2 , que depende del grosor y el material de las láminas (52a, 52b) de filtro, calculándose la suma ponderada Σ_{GW} según la siguiente fórmula: $\Sigma_{GW} = f_1 \cdot MW_{PE+Cu} + f_2 \cdot MW_{PE}$, donde MW_{PE+Cu} es el primer valor de medición, MW_{PE} el segundo valor de medición, f_1 el factor de ponderación para el primer valor de medición y f_2 el factor de ponderación para el segundo valor de medición y en el que $f_1 + f_2 = 1$ y los factores de ponderación f_1 y f_2 dependen del grosor y el material de las láminas (52a, 52b) de filtro, utilizar la suma ponderada como valor de medición para la dosis equivalente ambiental $H^*(10)$.

45 14.- Procedimiento para medir la dosis equivalente ambiental ($H^*(10)$) de radiación fotónica (P) en un intervalo de energía de desde 10 keV hasta 10 MeV con un dosímetro (1) local, en particular según una de las reivindicaciones anteriores 1-12, proporcionar el dosímetro (1) local en un lugar fijado expuesto a radiación, en el que el dosímetro (1) local comprende un cuerpo (30) de dispersión para la radiación fotónica (P) y una tarjeta (2) detectora con un primer par (10) de elementos (12, 14) detectores sensibles a la radiación fotónica con el mismo comportamiento de respuesta para la radiación fotónica (P) que va a medirse y un segundo par (20) de elementos (22, 24) detectores sensibles a la radiación fotónica con el mismo comportamiento de respuesta para la radiación fotónica (P) que va a medirse en el interior del cuerpo (30) de dispersión, en el que el primero (12) de los dos elementos detectores del primer par está posicionado entre dos láminas (52a, 52b) de filtro y el primero (22) de los dos elementos detectores del segundo par (20) está posicionado entre dos láminas (62a, 62b) de filtro, irradiar el dosímetro (1) local en el lugar fijado con radiación fotónica (P) en el intervalo de energía de al menos 10 keV a 10 MeV durante una duración de tiempo determinada, en el que la radiación fotónica (P) que incide sobre el primer elemento (12, 22) detector se filtra por las láminas (52a, 52b, 62a, 62b) de filtro dispuestas delante y detrás del primer elemento (12, 22) detector en cada caso, leer el dosímetro (1) local tras la duración de tiempo de la irradiación, en el que el primer (12) y segundo

5 elemento (14) detector del primer par (10) y el primer (22) y segundo elemento (24) detector del segundo par (20) se
leen por separado, en el que se determinan un primer valor de medición para la dosis de radiación sobre el primer
elemento (12) detector del primer par (10), un segundo valor de medición para la dosis de radiación sobre el
segundo elemento (14) detector del primer par (10), un tercer valor de medición para la dosis de radiación sobre el
10 primer elemento (22) detector del segundo par (20) y un cuarto valor de medición para la dosis de radiación sobre el
segundo elemento (24) detector del segundo par (20), y en el que se forma un primer valor de medición promediado
mediante promediado del primer y tercer valor de medición y un segundo valor de medición promediado mediante
promediado del segundo y cuarto valor de medición, formar una suma ponderada Σ_{GW} a partir del primer y segundo
valor de medición promediado, con factores de ponderación predefinidos f_1 , f_2 , que depende del grosor y el material
de las láminas (52a, 52b) de filtro, calculándose la suma ponderada Σ_{GW} según la siguiente fórmula: Σ_{GW}
15 $=f_1 \cdot MW_{PE+Cu} + f_2 \cdot MW_{PE}$, donde MW_{PE+Cu} es el primer valor de medición promediado, MW_{PE} el segundo valor de
medición promediado, f_1 el factor de ponderación para el primer valor de medición promediado y f_2 el factor de
ponderación para el segundo valor de medición promediado y en el que $f_1 + f_2 = 1$ y los factores de ponderación f_1 y f_2
dependen del grosor y el material de las láminas (52a, 52b) de filtro, utilizar la suma ponderada Σ_{GW} a partir de los
valores de medición promediados como valor de medición para la dosis equivalente ambiental $H^*(10)$.

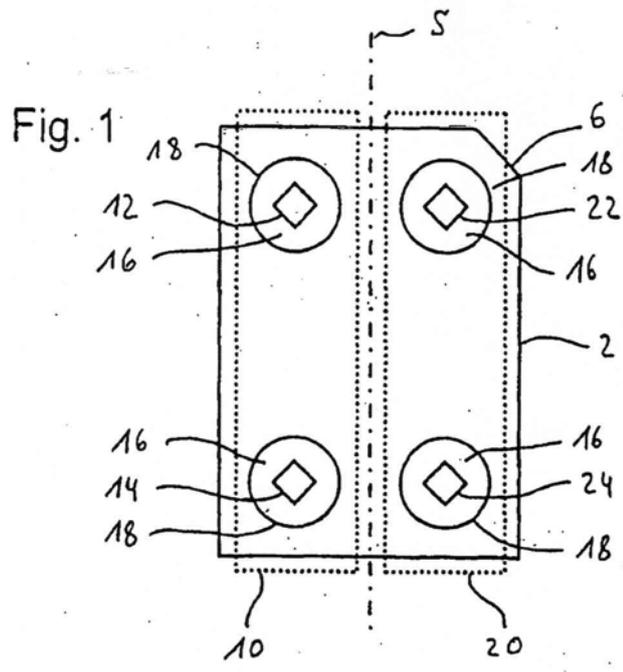
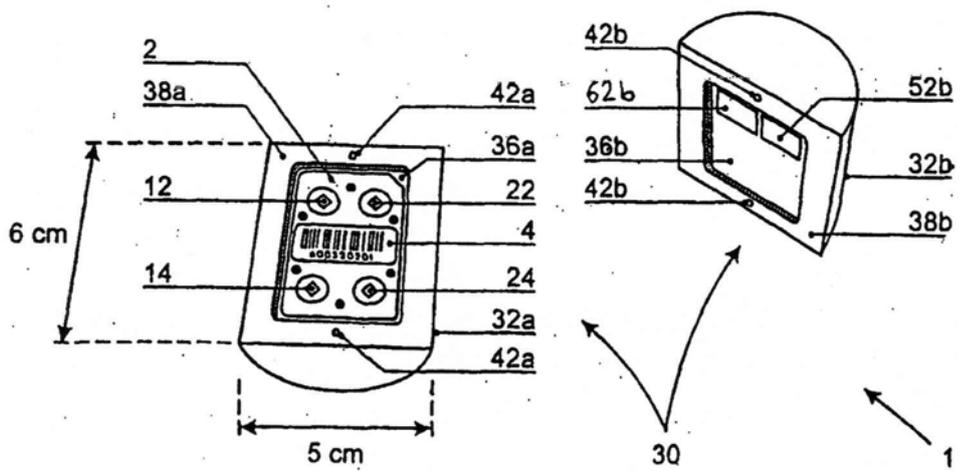


Fig. 2



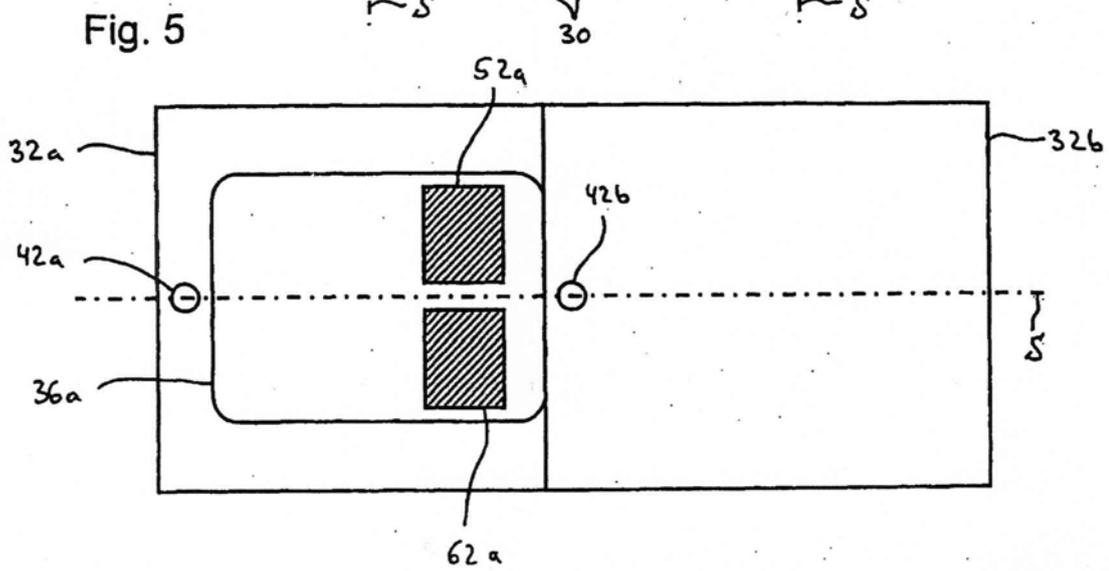
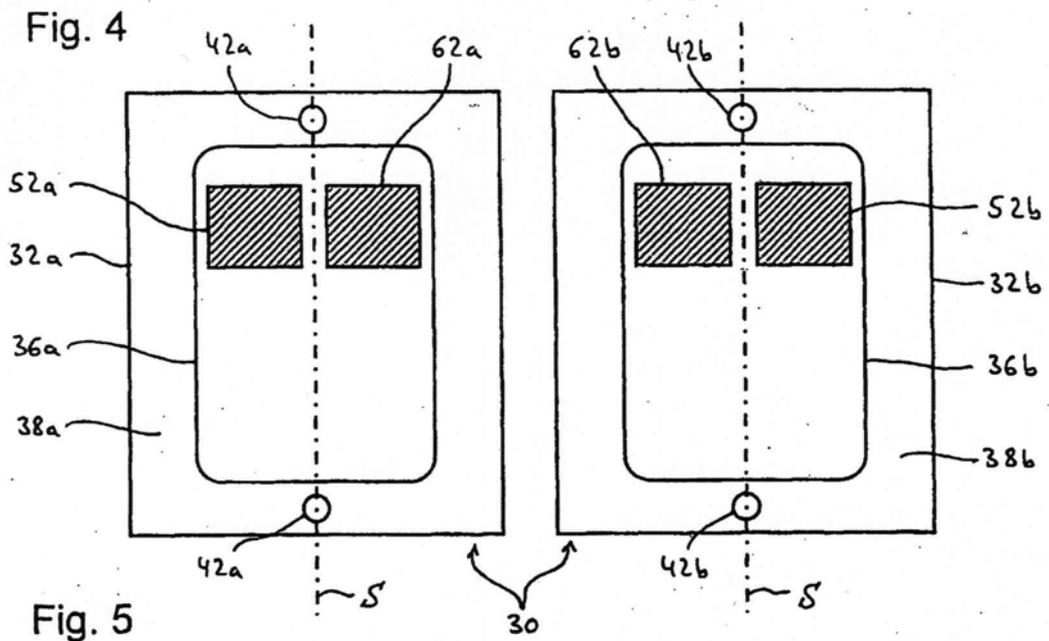
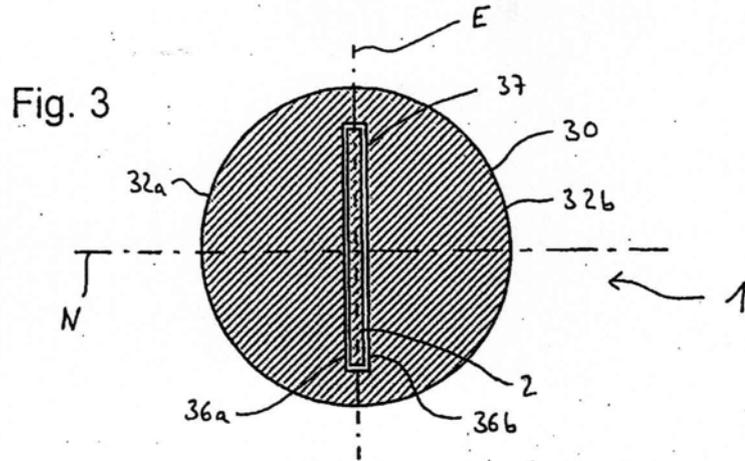


Fig. 6

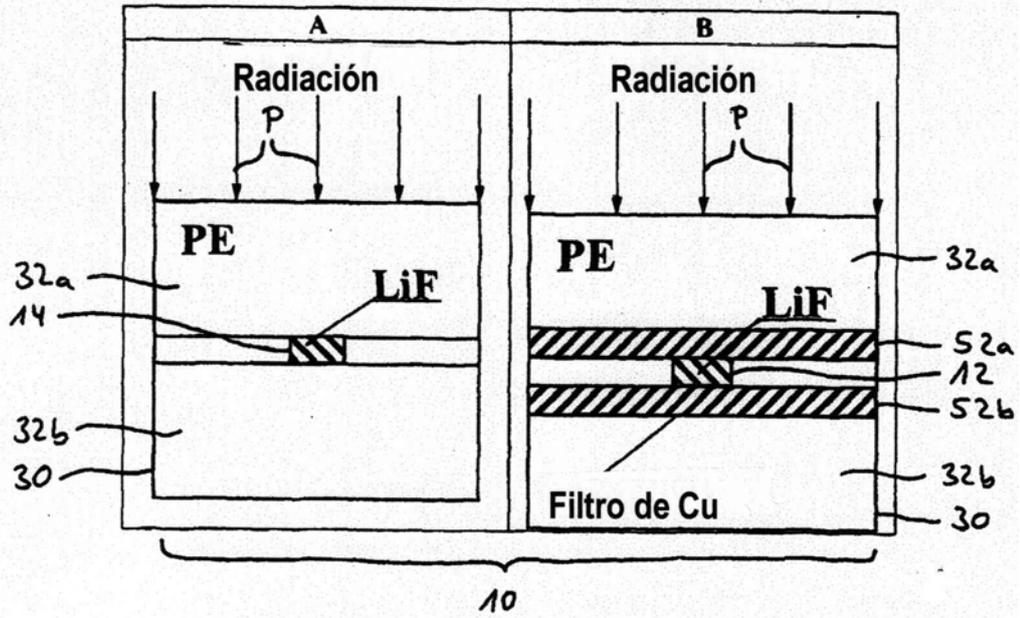


Fig. 7

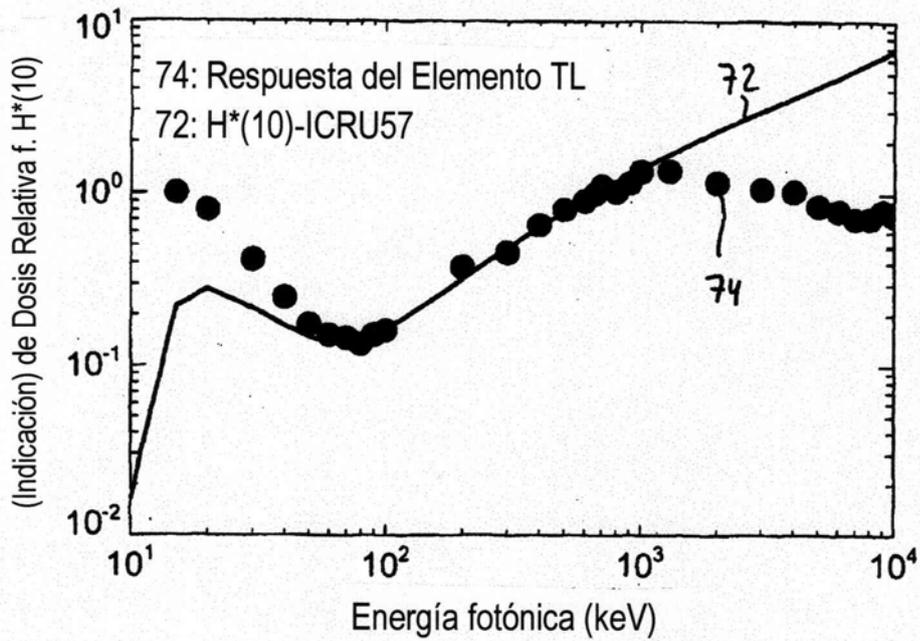


Fig. 8

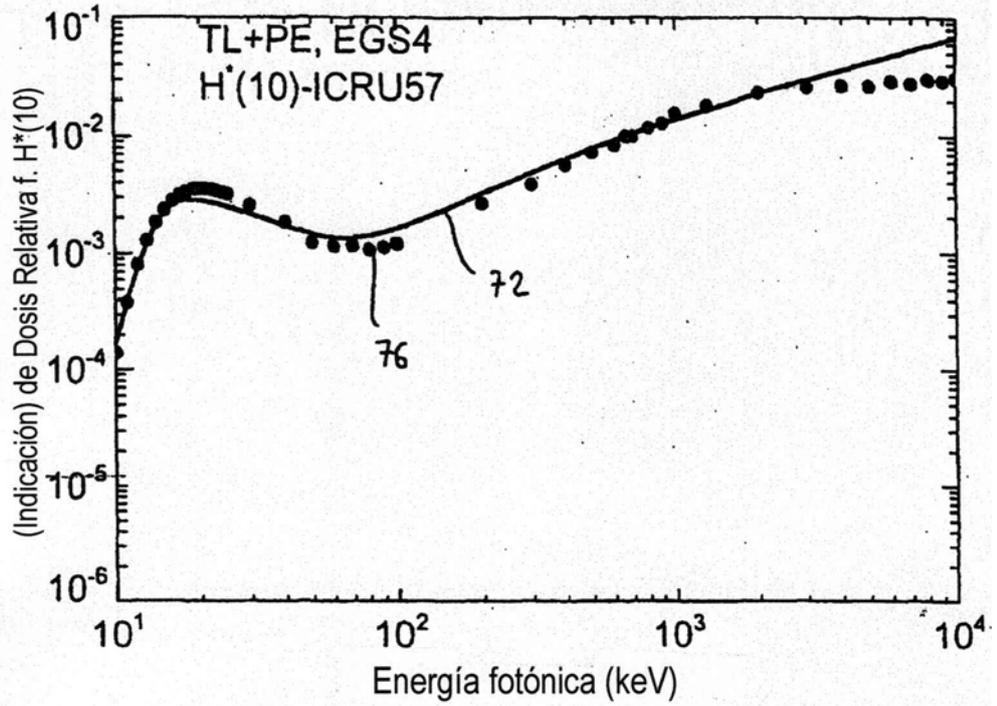


Fig. 9

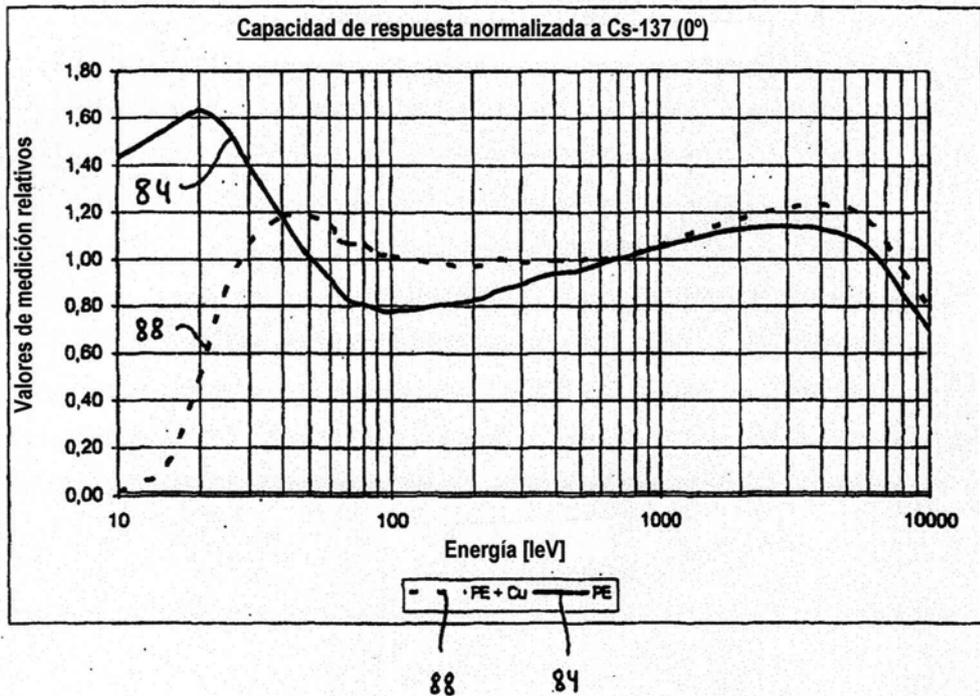


Fig. 10

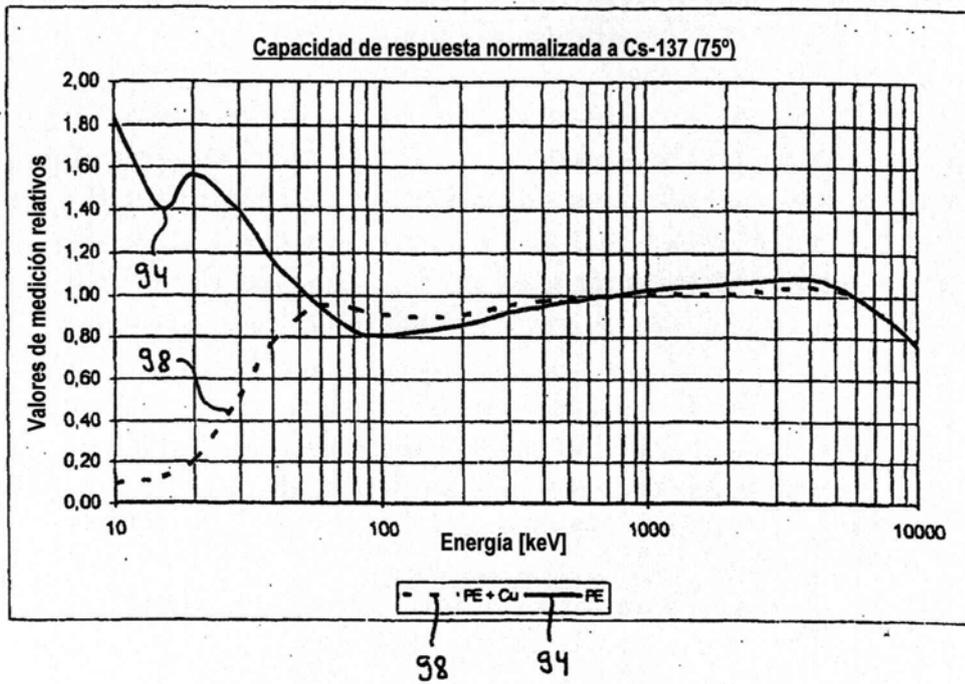


Fig. 11

